ANTONIO MARCELO ARIETTI JUNIOR

Análise dos requisitos da qualidade em projetos de robôs agrícolas

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica.

Área de concentração: Manufatura

Orientador: Prof. Dr. Arthur José Vieira Porto

São Carlos

2010

DEDICATÓRIA

A toda minha família, que sempre
apoiou e incentivou minhas buscas.

Em especial aos meus pais,
irmãos, irmãs e minha amada
noiva Glauce.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Arthur José Vieira Porto, meu orientador, pelo apoio e voto de confiança, assim como disposição e atenção despendida durante a elaboração desse trabalho.

À minha irmã Elza pela revisão da ortografia e gramática desse trabalho.

Aos meus pais, irmãs, irmãos, familiares e amigos por todos os momentos que desfrutamos juntos, assim como, compreensão pelos momentos que estive ausente desenvolvendo este trabalho.

À minha noiva, Glauce, que sempre me deu apoio e atenção para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Doutorando Rubens André Tabile, pela ajuda prestada durante o desenvolvimento desse trabalho, pelas idéias discutidas e importantes contribuições.

A todos da Pós-Graduação, colegas de classe, professores e funcionários do Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia de São Carlos, em especial à Beth por todo suporte nestes três anos.

Aos meus supervisores na Caterpillar, que permitiram minhas viagens à São Carlos durante o expediente, em especial ao Paulo Sérgio Della Muta, que me permitiu e apoiou iniciar este projeto.

A todos não mencionados anteriormente, que de alguma forma contribuíram na realização deste trabalho.

RESUMO

ARIETTI JUNIOR, A.M. Análise dos requisitos da qualidade em projetos de robôs agrícolas. São Carlos, 2010. 106p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Norteado pela necessidade de evolução do mercado agrícola, o desenvolvimento da agricultura de precisão atinge o nível de gerenciamento escalar de uma única planta, utilizando robôs agrícolas autônomos, os quais deverão trabalhar por longos períodos, ser ambientalmente corretos, atender às necessidades dos clientes, e ainda, com qualidade, confiabilidade e segurança. Este trabalho tem como objetivos pesquisar, discutir e apresentar os requisitos da qualidade em robôs agrícolas, focando a satisfação do usuário final. Tais objetivos serão atingidos por meio do detalhamento da aplicação de ferramentas utilizadas durante o desenvolvimento do produto, e da avaliação de um robô existente, quanto ao atendimento dos requisitos definidos pelo usuário final. O estudo conclui que, a melhor metodologia a ser utilizada para satisfazer as necessidades do usuário final de um robô agrícola, é aplicação da ferramenta QFD durante o desenvolvimento do projeto do produto. Quanto à avaliação do robô existente, a conclusão foi de que, por se tratar de um robô desenvolvido com finalidade experimental para execução de pequenas atividades e com recursos financeiros limitados, sua nota média obtida pode ser considerada ótima.

Palavras-Chave: Robô agrícola móvel; Agricultura de precisão; QFD

ABSTRACT

ARIETTI JUNIOR, A.M. Análise dos requisitos da qualidade em projetos de robôs agrícolas. São Carlos, 2010. 106p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Guided by agricultural market evolution demand, precision agriculture development reaches scalar management level of one only plant, through the usage of autonomous agricultural robots, which must work in long shifts, environmentally friendly, meet customer requirements, all this with quality, reliability and safety. This work aims the research, discussion and presentation of quality requirements of agricultural robots, focusing on the satisfaction of final user. These objectives are reached through the tools application detailing used during the product development and evaluation of an existent robot on the requirements defined by the final user. The study concludes that the best methodology to be used to satisfy agricultural robots final user needs is through the application of QFD tool during the product design. As for the evaluation on the existent robot, the conclusion was that, as a robot developed for an experimental execution of small activities and with limited budget, his average score may be considered great.

Keywords: Agricultural mobile robot; Precision agriculture; QFD

LISTA DE FIGURAS

Figura 2-1 - Robô por Asimov em 1939. ..... Figura 2-2 - Robô por Asimov em 1990. 26

Figura 2-3 – Missões do trator robô. Fonte: Adaptado de Noguchi (2001).....30

Figura 2-4 – Hortibot em funcionamento. Fonte: Adaptado de Chaoui e Sørensen (2008).....31

Figura 2-5 – Robô cão de guarda no campo. Fonte: Adaptado de Nagasaka (2004a). 34

Figura 2-6 – Robô para controle de qualidade de plantação de morango. Fonte: Adaptado de Kondo (2005). 35

Figura 2-7 – Ilustração de um robô para realização do DBC (as quatro árvores com círculos estão selecionadas, as outras serão cortadas). Fonte: Adaptado de Vestlund (2005).....36

Figura 2-8 – Protótipo do robô de navegação autônoma da Universidade de Umeå na Suécia. Fonte: Adaptado de Hellström, Lärkeryd e Nordfjell (2008).....38

Figura 2-9 – Autonomous Christmas Tree Weeder (ACW). Fonte: Adaptado de Have (2002).....39

Figura 2-10 – Funcionamento do ACW. Fonte: Adaptado de Have (2002). 40

Figura 2-11 – FeederAnt alimentando porcos no campo. Fonte: Adaptado de Jørgensen, Sørensen, et al (2007).....42

Figura 2-12 – Scarebot, robô utilizado para espantar pássaros através de jato de água. Fonte: Adaptado de Hall, Price, et al., (2005).....43

Figura 3-1 – Modelo Kano. Fonte: Adaptado de Kanomodel (2010). 49

Figura 3-2 – Abordagem ao QFD. Fonte: Adaptado de Caterpillar (2004). 54

Figura 5-1 – Diagrama das oito perspectivas de robôs agrícolas. Fonte: Adaptado de Blackmore (2007).....61

Figura 6-1 – Diagrama de bloco das funções a serem desempenhadas pelo robô. Fonte: Adaptado de Bakker (2009). 70

Figura 6-2 – Importância dos requisitos segundo pontuação dos clientes. Fonte: Adaptado de Sørensen, Jørgensen, et al., (2009).....80

Figura 6-3 – Importância relativa (%) dos parâmetros técnicos do projeto. Fonte: Adaptado de Sørensen, Jørgensen, et al., (2009).....85

Figura 7-1 – Vista isométrica do robô. Fonte: Adaptado de Inamasu (2010). 87

Figura 7-2 – Nota média do robô e das categorias de parâmetros de projeto. 93

Figura 7-3 – *Gap* quanto ao atendimento da importância relativa (%) dos parâmetros técnicos do projeto. 94

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Funcionalidades do trator robô. Fonte: Adaptado de Noguchi (2001). 30

Tabela 2 – Comparação dos Sistemas - Manual x Robótico. Fonte: Adaptado de Sørensen, Nørremark, *et al.* (2007).....33

Tabela 3 – Métodos de ouvir a voz do cliente. Fonte: Adaptado de Caterpillar (2004). 53

Tabela 4 – Exemplos de situações de contexto externo. Fonte: Adaptado de Blackmore, Fountas, et al. (2004b). 76

Tabela 5 – Requisitos do cliente divididos em seis categorias principais. Fonte: Adaptado de Sørensen, Jørgensen, et al., (2009).....79

Tabela 6 – Parâmetros técnicos do projeto divididos em seis categorias principais. Fonte: Adaptado de Sørensen, Jørgensen, et al., (2009). 81

Tabela 7 – Parâmetros técnicos do projeto a serem melhorados. 95

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACW	Autonomous Christmas Tree Weeder
ASQ	American Society of Quality
ASABE	American Society of Agricultural and Biological Engineers
ASAE	American Society of Agricultural Engineers
DBC	Desbaste Pré-Comercial
ECO-DAN A/S	Sistema de posicionamento local baseado visão computadorizada.
FOG	Fiber Optic Gyroscope
GIS	Geographic Information System
GPS	Global Positioning System
IDC	Intelligent Data Carrier
MIS	Management Information System
P2P	Peer to Peer
QFD	Quality Function Deployment
RTK-GPS	Real Time Kinematic GPS

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 19

1.1 OBJETIVO 21

1.2 ESTRUTURA E ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO 21

2 MERCADO POTENCIAL PARA ROBÔS 24

2.1 EVOLUÇÃO DA ROBÓTICA 24

2.2 EVOLUÇÃO DA ROBÓTICA NA AGRICULTURA 26

2.3 NECESSIDADE DE ROBÔS NO MERCADO 28

2.3.1 ROBÔS NA AGRILCULTURA E HORTICULTURA 29

2.3.2 ROBÔS NA AGRILCULTURA E HORTICULTURA 35

2.3.3 ROBÔS NA AGRILCULTURA E HORTICULTURA 40

3 QUALIDADE PARA O CLIENTE 45

3.1 PERCEPÇÃO DA QUALIDADE 46

3.2 FERRAMENTAS DA QUALIDADE 48

3.3 APLICAÇÃO CONJUNTA DAS TÉCNICAS E FERRAMENTAS 53

4 MÉTODO DA PESQUISA 55

4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS – ROBÔS AUTÔNOMOS DE QUALIDADE ... 55

4.2 ABORDAGEM METODOLÓGICA 56

4.3 PROCEDIMENTO DA PESQUISA 57

4.4 ETAPAS DA PESQUISA 59

5 ROBÔS AGRÍCOLAS AUTÔNOMOS 60

5.1 DIFERENTES TIPOS DE ROBÔS AGRÍCOLAS 60

5.2 VISÃO SISTÊMICA SOBRE ROBÔS AGRÍCOLAS 61

6 APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS DA QUALIDADE EM ROBÔS AGRÍCOLAS 67

6.1 OUVINDO A VOZ DO CLIENTE 68

6.2 REQUISITOS DE SISTEMAS BASEADO EM PESQUISA DE CAMPO 70

6.3 APLICAÇÃO DA FERRAMENTA QFD 78

6.4 ANÁLISE DE MÉRITO DAS FERRAMENTAS 85

7 AVALIAÇÃO DE UM ROBÔ AGRÍCOLA EXISTENTE 87

7.1 INTRODUÇÃO AO ROBÔ AGRÍCOLA SOB AVALIAÇÃO 87
7.2 AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS TÉCNICOS DE PROJETO.....88
7.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE O ROBÔ 95
8 CONCLUSÕES 96
9 TRABALHOS FUTUROS 97
BIBLIOGRAFIA 98

1. INTRODUÇÃO

Com o objetivo de melhorar a qualidade de seus produtos, aumentar a sua lucratividade, e ainda, diminuir o uso de agrotóxicos, os produtores rurais têm investido na agricultura de precisão, a qual, segundo Blackmore (1999), é definida como o gerenciamento da variabilidade da colheita e da terra, a fim de melhorar o beneficio econômico, bem como reduzir o impacto ambiental. Definição essa que pode ser usada para os dois propósitos: o primeiro, de identificar o gerenciamento da variabilidade como o fator essencial (e não a tecnologia), ao contrário do que muitos pensam; e o segundo, de identificar as diretrizes para mudança nos sistemas existentes, melhorando os retornos financeiros e reduzindo o impacto das práticas de gerenciamento no meio ambiente. Tanto um quanto outro, têm como objetivo melhorar a eficiência dos processos agrícolas.

No primórdio da agricultura, o cultivo da colheita era realizado na escala da planta individual, e com o passar do tempo, a substituição da mão de obra pela mecanização dos processos fez com que esta escala mudasse para a plantação inteira, motivada principalmente pelas vantagens econômicas que os fazendeiros encontraram, quando comparada à lucratividade gerada por uma grande máquina, que pode cuidar de um campo inteiro, ao custo de somente um operador.

No entanto, à medida que a agricultura de precisão foi se desenvolvendo, a escala de gerenciamento foi reduzida, primeiramente, da plantação inteira, e depois, para um campo individual, possibilitando o gerenciamento na escala de uma única planta, com a utilização de robôs agrícolas no monitoramento da plantação.

Estes robôs devem ser inteligentes o suficiente para trabalhar de maneira autônoma por longos períodos, além de providenciar informação precisa, e em tempo real, do monitoramento da plantação, o seu posicionamento global, local, e outras tarefas que possam surgir.

A pesquisa sobre robôs agrícolas, nos últimos anos, vem crescendo, e já é possível encontrar projetos de robôs concluídos, ou em desenvolvimento, em universidades de diversos países, tais como Alemanha, Holanda, Finlândia, Estados Unidos, Japão, Brasil, entre outros. Pode-se citar projetos relevantes como:

- Robô autônomo de Bakker (2006) para controle de ervas daninha;
- Hortibot de Jørgensen, Sørensen, *et al* (2006);
- Greenweeder de Dang (2009);
- Robô Agrícola Móvel desenvolvido pela Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Carlos (INAMASU, 2010).

Uma das maneiras utilizada pela Universidade de Wageningen, na Holanda, para promover o desenvolvimento de novos robôs, novas idéias e tecnologias, foi a criação de um evento, no qual estudantes e pesquisadores apresentam seus robôs agrícolas, concorrendo ao prêmio de melhor robô. Este evento acontece anualmente, desde 2003, e é chamado de "*Field Robot Event*" (WAGENINGEN UNIVERSITY, 2010).

Segundo (SOUSA, 2007), além dos projetos desenvolvidos em universidades, empresas produtoras de tratores, como AGCO, John Deer, CNH e Yanmar, também realizam pesquisas e projetos de robôs móveis agrícolas.

No entanto, a mudança do estado atual, no qual grandes tratores e uma alta quantidade de mão de obra realizam o gerenciamento da agricultura de precisão,

para um estado futuro, em que robôs autônomos desempenharão a maior parte das atividades, depende das vantagens por eles apresentadas.

Por essa razão, conforme citado anteriormente, tais robôs devem trabalhar de maneira autônoma, por longos períodos, além de estarem preparados para as situações de trabalho, ser ambientalmente corretos, a um preço acessível, atender às necessidades dos clientes, e ainda, fazer tudo isso com eficiência, qualidade, confiabilidade e segurança.

A melhor maneira de atender a todos estes requisitos é aplicando-se ferramentas da qualidade, durante o desenvolvimento do projeto do robô. Diversas ferramentas podem ser aplicadas, algumas serão apresentadas e discutidas neste projeto.

1.1. OBJETIVO

O objetivo do presente trabalho é pesquisar, discutir e relatar os requisitos da qualidade de um robô, utilizado na agricultura, horticultura, entre outros, explorando o conceito de qualidade para o usuário final e os demais envolvidos no desenvolvimento do produto, incluindo, ainda, as ferramentas da qualidade a serem utilizadas, as atuais considerações no desenvolvimento deste produto, sua apresentação aos mercados potenciais para estes robôs e a avaliação de um robô agrícola existente quanto ao atendimento dos parâmetros técnicos do projeto definidos por clientes e especialistas no assunto.

1.2. ESTRUTURA E ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

A estrutura deste trabalho foi definida pelas diretrizes para apresentação de dissertações e teses da USP em documento eletrônico e impresso, com base nas normas da ABNT. O trabalho está organizado em oito capítulos, quais sejam:

Introdução, Mercado potencial para robôs, Qualidade para o Cliente, Método da Pesquisa, Robôs Agrícolas Autônomos, Aplicação de Ferramentas da Qualidade em Robôs Agrícolas, Avaliação de um Robô Agrícola Existente e Conclusão.

No primeiro capítulo, é apresentada uma breve introdução sobre o uso de robôs agrícolas e a necessidade do cliente quanto à qualidade deste produto.

No capítulo 2, o autor fará uma revisão literária quanto à necessidade de robotização no mercado agrícola, com o objetivo de formar os conceitos necessários para a realização do presente estudo. Foram estudados e pesquisados vários temas, tais como: Evolução da Robótica na Agricultura, Robôs na Agricultura, Horticultura, Silvicultura, Zootecnia, etc.

No capítulo 3, haverá uma discussão em torno dos requisitos da qualidade do produto e a apresentação de ferramentas da qualidade, que são utilizadas na busca da satisfação do cliente.

No capítulo 4, será apresentado o método utilizado na pesquisa, a classificação em relação à sua natureza, o procedimento técnico utilizado, seu propósito e as etapas da pesquisa e concepção do trabalho.

No capítulo 5, será apresentada uma discussão sobre o projeto de robôs agrícolas autônomos.

No capítulo 6, será demonstrada a aplicação de ferramentas da qualidade em diferentes projetos de robôs agrícolas autônomos.

No capítulo 7, serão avaliados os parâmetros técnicos de um robô agrícola existente, comparando-se as suas características aos requisitos definidos como importantes por pessoas relacionadas à robótica agrícola.

No capítulo 8, serão feitas as conclusões do presente estudo e abordagem de temas para trabalhos futuros.

2. MERCADO POTENCIAL PARA ROBÔS

Neste capítulo, se fará uma revisão literária quanto à necessidade de robotização no mercado agrícola, com o objetivo de formar os conceitos necessários para a realização do presente estudo. Foram estudados e pesquisados vários temas, tais como: Evolução da Robótica na Agricultura, Robôs na Agricultura, Horticultura, Silvicultura, Zootecnia, etc.

A decisão sobre a utilidade de um produto cabe ao consumidor final, enquanto o seu preço é determinado pelo mercado. Tais fatos se devem à mudança de um mercado que, antigamente, absorvia a grande quantidade de produtos fabricados em larga escala, para um mercado mais exigente, que preza pela variedade de produtos com preço razoável e de qualidade elevada (ALMEIDA, 2009).

2.1. EVOLUÇÃO DA ROBÓTICA

Na concepção de Kyriakipoulos e Loizou (2006), o conceito do robô na forma que hoje é estabelecida na mente das pessoas foi, primeiramente, introduzido pelo dramaturgo Tcheco Karel Čapek, em 1921, com seu conto de ficção científica “Rossum´s Universal Robots”, no qual, ao final, eles se voltam contra os seres humanos.

Na década de1940, o famoso escritor de ficção científica, Isaac Asimov, concebeu o robô com a aparência humana. Além das tarefas para o qual foi programado para desempenhar, seu comportamento era ditado por um cérebro positrônico, que foi programado por um ser humano para seguir certas regras éticas. O termo robótica foi introduzido por Asimov como a ciência que estuda os robôs. A

primeira patente industrial foi concedida a George Devol Jr, que nomeou sua construção “Unimation”.

Em 1959, o primeiro robô aplicado na indústria foi pela General Motors, na planta da cidade de Turnstead. Os primeiros robôs eram muito grandes e com movimentação produzida por sistemas hidráulicos. Realizar a sua programação, controle e manutenção eram tarefas difíceis.

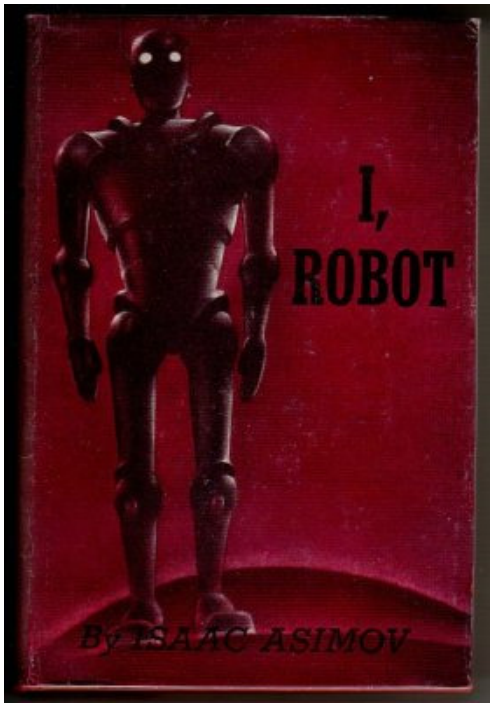
Na década de 1970 a indústria robótica foi vastamente beneficiada com o avanço dos microprocessadores. Novos modelos de robôs foram produzidos, com maior facilidade de reprogramação. Arquiteturas de controle rápido, que necessitavam de sistemas mais computadorizados, agora podiam ser construídas e os novos robôs tinham maior diversidade de aplicações. Os sistemas hidráulicos foram trocados pelos motores DC e, mais tarde, pelos servomotores AC. Na década de 1990 os robôs faziam parte de uma tecnologia bem comprovada e estabelecida na indústria.

Hoje, são utilizados em ambientes perigosos e não higiênicos. Apesar de substituir pessoas, tirando o emprego destas, eles realizam tarefas repetitivas com qualidade constante e produção imbatível, proporcionando vastos avanços tecnológicos.

Segundo Scatena (2009), seria necessário um desenvolvimento árduo e conjunto das áreas de sistemas robóticos, inteligência artificial, hardware e ambiente, para que os robôs, que existem hoje, pudessem se aproximar dos contos de Isaac Asimov. No entanto, a ampliação de seu uso é inevitável, considerando a diminuição de seu preço e o aumento de suas funcionalidades. No futuro, é esperado um grande desempenho dos robôs na sociedade, e considerando o

mercado competitivo somente as maiores produtoras serão capazes de sobreviver (KYRIAKIPOULOS e LOIZOU, 2006).

A figura 2.1.1 mostra a idealização de um robô, com a aparência inspirada no homem feita por Asimov em Eu, Robô (1939). O aperfeiçoamento desta idealização pode ser visto nos traços e formas do robô na figura 2.1.2, feita por Asimov em Visões de Robô (1990).



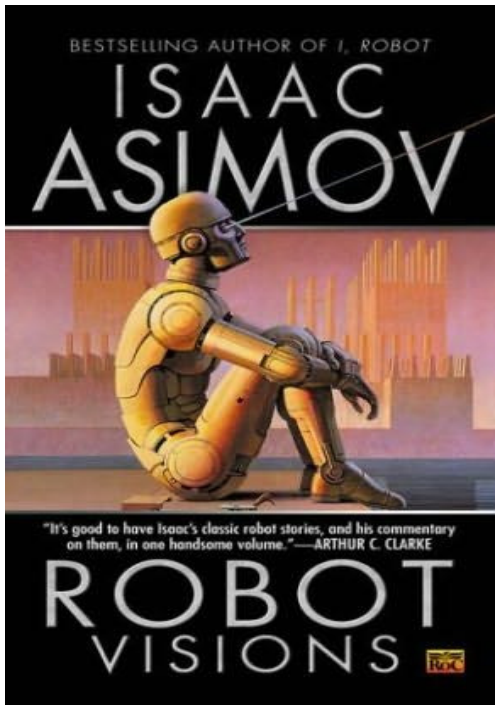


Figura 2-1 - Robô por Asimov em 1939. **Figura 2-2** - Robô por Asimov em 1990.

2.2. EVOLUÇÃO DA ROBÓTICA NA AGRICULTURA

Com a evolução na robótica, e o passar do tempo, muitos sistemas que antes eram mecânicos, passaram a ser robóticos, com a intenção de aproveitar a evolução ocorrida nesta área, além das vantagens por ela apresentada. Exemplo disto pode ser visto no relato feito por HAVE (2002), em relação à evolução do sistema de direção de veículos agrícolas: Experimentos em idéias de remover o operador do trator ou facilitar sua movimentação já foram relatados desde 1909. Desde então, a

tecnologia tem sido desenvolvida para automatizar a movimentação dos veículos o máximo possível. A movimentação automática dos veículos agrícolas de hoje em dia irá, na maioria dos casos, utilizar o GPS para posição absoluta e sistemas de visão (sistemas de processamento de imagens) para sensoriamento da posição relativa. Um dos elementos necessário para a automação prática da movimentação é o controle baseado em computadores com capacidade de computação razoável.

A história da movimentação automática de veículos agrícolas pode ser dividida em duas épocas. Até 1940, os experimentos haviam sido, na maioria, com sistemas mecânicos. Em 1936, tratores com controles por rádio foram apresentados. Durante a segunda guerra mundial, servomecanismos foram colocados em utilizações gerais, dando início a teoria dos sistemas de controle.

Entre as décadas de 1950 e 1980, uma grande quantidade de pesquisa em movimentação de maquinário agrícola foi realizada. Liljedahl (1962) aplicou a teoria de controle automático na movimentação automática de tratores, e por meio desta, a introdução da aplicação de modelagem matemática às análises de sistemas nesta área**.**

Na década 1970, a crescente aplicação de instrumentação eletrônica para pesquisa em engenharia agrícola foi combinada ao controle eletrônico com o intuito do avanço de ambos os tópicos, e no final da década, o microprocessador era introduzido em alguns sistemas.

Na década de 1980, os equipamentos eletrônicos foram utilizados de forma mais generalizada, a maioria em equipamentos de monitoramento e alguns para controles simples. Nesta década, verificou-se o esforço para o aumento da qualidade dos produtos eletrônicos na agricultura. O desenvolvimento e

padronização de barramentos para tratores agrícolas também começaram nesta época.

Na década de 1990, o conceito da agricultura de precisão trouxe para os sistemas de navegação o uso do GPS. Diversos fatores, em seguida levaram ao uso do RTK-GPS. Nesta década, ainda foram desenvolvidos sistemas processadores de imagens, capazes de processar imagens relativamente complexas em tempo quase real, com o objetivo de agir como uma ferramenta de mensuração de espaço. Pesquisas realizadas, em meados do ano 2000, aplicaram os sistemas processadores de imagem para orientação dos maquinários no campo, na execução de tarefas como colheita de frutos, detecção de ervas daninha e movimentação dentro da plantação.

2.3. NECESSIDADE DE ROBÔS NO MERCADO

Não somente a agricultura tirou proveito da evolução da robótica, mas também a silvicultura, a horticultura, a zootecnia, entre outras. Assim, com o passar do tempo, a robótica passou a ser uma necessidade para todos.

Atualmente, tanto produtos convencionais, quanto orgânicos, enfrentam desafios consideráveis em termos de economia, técnicas de produção e natureza ambiental. Estes desafios podem ser categorizados em tópicos como: fertilidade do solo, ambiente de trabalho, redução de pesticidas, consumo de energia, extração de nutrientes, etc. Por exemplo, a demanda por racionalização do uso de elementos desnecessários, o alto custo e a falta de mão de obra levaram ao uso de máquinas pesadas, combinadas a implementos agrícolas. Embora a alta eficiência nas operações tenha sido atingida, ao mesmo tempo, a compactação excessiva do solo, devido ao peso dos maquinários, tem causado impactos negativos, como o

comprometimento de sua função na ajuda ao crescimento da plantação, o que gera a demanda de energia para operações de cultivo do solo. Em longo prazo, é esperado que problemas irreversíveis ocorram no crescimento da plantação (SøRENSEN, JøRGENSEN, *et al.*, 2008).

Além destes desafios, o setor de máquinas pesadas enfrenta: a necessidade de inovação para atender às novas práticas agrícolas, o custo da mão de obra que está cada dia mais alto, a população rural que apresenta envelhecimento sem perspectivas de renovação, a necessidade de minimizar a exposição dos operadores a atividades insalubres e a redução de custos da eletrônica, o que têm incentivado e justificado pesquisas em veículos autônomos e de robôs móveis por empresas como AGCO, John Deer, CNH e Yanmar (SOUSA, 2007).

2.3.1. ROBÔS NA AGRILCULTURA E HORTICULTURA

Segundo o dicionário Priberam (2009), agricultura é a arte de cultivar a terra, e, a horticultura é a arte de cultivar hortas e jardins. Com essas definições, podemos descrever as necessidades de robôs na agricultura e horticultura como sendo para trabalhos similares, relacionados à: preparação do solo para utilizações diversas, adubagem, irrigação, eliminação de pragas, identificação e/ou eliminação de insetos e ervas daninha, coleta de informações da plantação em geral (qualidade das frutas, qualidade do solo, etc.) e colheita de frutos.

PREPARAÇÃO DO SOLO, ADUBAGEM, ELIMINAÇÃO/IDENTIFICAÇÃO DE PRAGAS E INSETOS

Exemplo de aplicação de um robô nestas tarefas, pode ser visto no trabalho de Noguchi (2001), no qual o autor apresenta uma solução para diversos obstáculos enfrentados por tratores robôs, através da utilização de uma fusão entre um RTK-

GPS e sensores FOG, que resultou na possibilidade do controle de diversas funcionalidades do trator robô, conforme mostrado na tabela 1.

Tabela 1 – Funcionalidades do trator robô. Fonte: Adaptado de Noguchi (2001).

- Direção
- Mudança de transmissão
(oito para cada uma das duas sub-transmissões)
- Mudança de movimento para frente e para trás
- Controle do power-take-off
- Funções do Hitch
- Módulo de Velocidade do motor
(dois módulos; manual e máximo)
- Desligamento do motor
- Freio

Em sua conclusão, Noguchi (2001) descreve que os testes para estas aplicações foram bem sucedidos nas diferentes missões do trator robô, conforme figura 2.3.

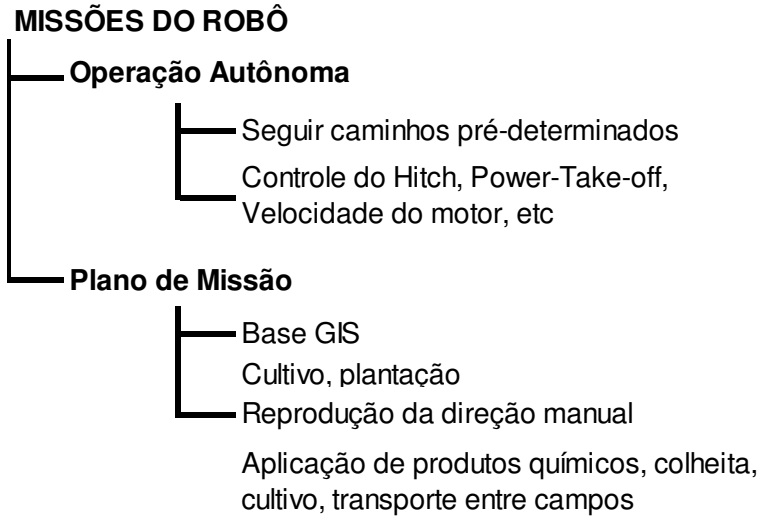


Figura 2-3 – Missões do trator robô. Fonte: Adaptado de Noguchi (2001).

ELIMINAÇÃO DE ERVAS DANINHA

Ervas daninha são vistas pelos especialistas da área como o problema mais crítico que pode ser combatido através do uso de robôs. Com a horticultura a céu aberto, a gravidade deste problema aumenta ainda mais, especialmente, para

semeaduras novas ou culturas transplantadas com baixa taxa de crescimento, como por exemplo, cenouras e cebolas.

A realização do controle de ervas daninha pode ser tanto mecânica entre linhas, combinada com aplicação de pesticida dentro da linha, ou mecânica entre linhas, combinada com capina manual dentro da linha. Contudo, a sociedade requer, hoje em dia, a diminuição do uso de pesticidas, a fim de diminuir o impacto na flora, fauna, sistema aquático e ambientes de trabalho (JøRGENSEN, SøRENSEN, *et al.*, 2006).

Segundo Jørgensen e Sørensen et al. (2006) na horticultura, por exemplo, a automatização da remoção de ervas daninha, elimina o trabalho monótono e fatigante, substituindo-o por uma máquina precisa, flexível e de qualidade avançada. Gera-se, a princípio, um aumento na capacidade de horas trabalhadas, e por ser uma máquina não tripulada poderá ser construída em tamanho menor, possibilitando ganhos, em termos de compactação do solo.

Figura 2-4 – Hortibot em funcionamento. Fonte: Adaptado de Chaoui e Sørensen (2008).

Jørgensen et al. (2006) apresentam o Hortibot, figura 2-4, robô projetado para cuidar de plantações, capaz de atravessar diversas linhas autonomamente, guiado pelo Eco-Dan A/S (Sistema de posicionamento local baseado em visão computadorizada), sem a utilização de GPS. Ele é apresentado como um robô que atenderá, de maneira robusta, as necessidades da horticultura e suas características, além das descritas anteriormente, são:

- Possibilidade de ser operado nas funções básicas por trabalhadores sem habilidades, após uma hora de treinamento e utilização de um guia operacional baseado em pictograma;

- Emissão de relatório operacional com análise documentando sua viabilidade, capacidade operacional e economia;

- Toda sua informação operacional é enviada a um banco de dados através da internet.

Além destas características, em um estudo mais avançado, Sørensen et al. (2007) compara a viabilidade da utilização do Hortibot, com o sistema convencional de remoção de erva daninha. A conclusão dos autores, sobre esta comparação, foi a de que, apesar da desvantagem da utilização de pesticidas na eliminação de ervas daninha, a aplicação de robôs é economicamente mais viável quando comparada ao sistema convencional, que utiliza a combinação de tratores ao trabalho manual, conforme mostrado na tabela 2.

Os parâmetros importantes para a determinação da lucratividade através do uso de robôs é relacionada à qualidade do trabalho realizado em termos de eficiência, investimento inicial e custo operacional como o de manutenção.

Tabela 2 – Comparação dos Sistemas - Manual x Robótico. Fonte: Adaptado de Sørensen, Nørremark, *et al.* (2007).

	Sistema Robótico	Sistema Convencional
Desempenho operacional:		
- capacidade minúsculas ervas daninha ha h^{-1} *)	0.74	4.67
- capacidade entre linha ha h^{-1} **)	0.31	2.36
- operação em horas por dia ***)	16	8
- dias de operação trabalhado ****)	50	50
- horas de operação por estação	800	400
- área anual tratada, ha	36.5	188.4
- eficiência do trabalho, %	90	95
Decomposição do custo:		
- depreciação e juros, $ ha^{-1}	253	41
- manuteção, $ ha^{-1}	626	38
- combustível, $ ha^{-1}	22	20
- eliminação de erva daninha manualmente, $ ha^{-1}	241	3010
- salário operador, $ ha^{-1} - supervisor, $ ha^{-1}	229	44
- preparação, $ ha^{-1}	69	7
Custo total, $ ha^{-1}	1737	3164
Redução de custo, %	54	

*) Capacidade estimada conforme velocidade de trabalho avaliada do entre linha.
**) Capacidade estimada conforme velocidade de trabalho avaliada do entre linha.
***) A quantidade de horas diária potencial de trabalho de um sistema robótico é definida por uma avaliação de leves restrições, trabalho necessário – ver Pedersen, Fountas et al (2006). O tempo trabalhado por dia para o sistema convencional é restrito à carga horária normal de trabalho do operador.
****) O número apropriado de dias potenciais para execução destas operações foi estimado anualmente no período de 30 anos entre 1961–90 através do uso de dados metereológicos junto as restrições climáticas, determinando o número de dias ou horas trabalhadas derivado do relatório de condições para preparação do solo na Dinamarca (Sørensen, 2003).

Além do Hortibot existem outros robôs que executam operações similares, como por exemplo:

- Robô utilizado para jardinagem em ambientes abertos, desenvolvido por pesquisadores do Instituto de Pesquisa Silsoe na Inglaterra (HAGUE, MARCHANT e TILLETT, 1997);
- Robô utilizado em plantações de beterraba, desenvolvido por pesquisadores da Universidade de Halmstad na Suécia (ÅSTRAND e BAERVELDT, 2002);
- Robô para ser utilizado no controle de ervas daninha em plantações orgânicas, construído por pesquisadores da Universidade de Wageningen na Holanda (BAKKER, VAN ASSELT, *et al.*, 2006);

- Greenweeder, robô não herbicida que mata erva daninha através de eletrocussão (DANG, 2009).

A maioria destes robôs utiliza tecnologias de conceito similares para a execução de suas tarefas, porém com características próprias em sua aplicação.

COLETA DE INFORMAÇÃO DA PLANTAÇÃO E COLHEITA DE FRUTOS

Para coleta de informações da plantação em geral, tais como, qualidade do solo, qualidade e crescimento da plantação, entre outros, temos exemplos de aplicação de robôs para execução destas atividades nos trabalhos de Nagasaka (2004a) e Kondo (2005).

Figura 2-5 – Robô cão de guarda no campo. Fonte: Adaptado de Nagasaka (2004a).

Nagasaka (2004a) apresenta um robô descrito como um “watching-dog robot” (robô cão de guarda), o que tem como função principal coletar informações referentes à plantação de maneira autônoma, com a vantagem de ser pequeno (conforme figura 2-5) e extremamente preciso. O autor descreve que em seu teste o

robô se moveu repetidamente entre linhas de plantação de milho de quatro semanas, por mais de trinta metros, sem danificar nenhum pé de milho.

O robô apresentado por Kondo (2005) tem como função controlar a qualidade e crescimento da plantação de morango e efetuar a colheita da fruta. No teste realizado para medir sua eficiência, o robô colheu 15 das 20 frutas que estavam visíveis e separadas de outras, numa velocidade de 9,3 e de 17,9 segundos. Figura 2-6 apresenta o robô em seu ambiente de trabalho.

Figura 2-6 – Robô para controle de qualidade de plantação de morango. Fonte: Adaptado de Kondo (2005).

2.3.2. ROBÔS NA AGRILCULTURA E HORTICULTURA

Silvicultura conforme o dicionário Priberam (2009) é a ciência da cultura das matas e suas plantações. A necessidade de robôs na silvicultura é para a limpeza de florestas (DBC), poda de galhos em árvores, aplicação de adubos e eliminação de pragas e ervas daninha.

DESBASTE PRÉ-COMERCIAL

Entre estas necessidades, uma tendência na silvicultura é a operação de limpeza de árvores, denominada desbaste pré-comercial (DBC). Segundo QUÉBEC (c2010) este é um tipo de tratamento no qual as árvores que apresentam deformações, insetos nocivos ou doenças, são selecionadas e cortadas, proporcionando às árvores mais jovens ao seu redor uma área maior para seu crescimento, aumentando, velozmente, a taxa de diâmetro e maior qualidade da floresta. Exemplo do DBC é ilustrado na figura 2-7.

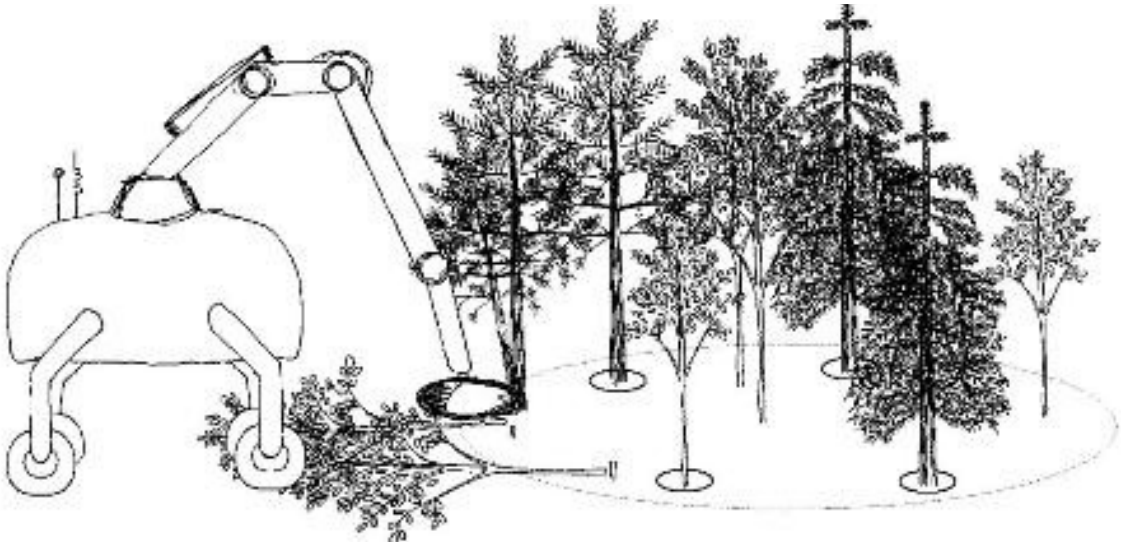


Figura 2-7 – Ilustração de um robô para realização do DBC (as quatro árvores com círculos estão selecionadas, as outras serão cortadas). Fonte: Adaptado de Vestlund (2005).

Na Suécia, grande parte das operações de DBC são manuais motorizadas, sendo que a área limpa anualmente tem diminuído e a densidade dos “stands” (grupo de árvores) que permaneceram tem aumentado. Esta tendência nos mostra que o custo atual da limpeza apresenta desvantagens, além do trabalho manual ser pesado, dificultando a existência de mão-de-obra para a atividade. Assim, existe a necessidade de novas técnicas para a diminuição do custo de limpeza e do trabalho

pesado, e o uso de robôs autônomos se apresenta como a melhor opção de solucioná-la (VESTLUND e HELLSTRÖM, 2005).

Os projetos de robôs para execução do DBC ainda estão na fase de protótipos, segundo Vestlund e Hellström (2005). Entre os projetos existentes, os autores citam:

- Projeto para limpeza (capina, desbaste e poda em grupos de árvores coníferas) que teve início no Canadá em 1993 e final em 1995. Projeto teve protótipo construído para demonstrar o controle autônomo, testar os sensores para o ambiente florestal e o conceito de mobilidade;
- Robô sendo desenvolvido no Japão para remoção de ervas daninha indesejáveis entre árvores pré-definidas em terrenos íngremes. A identificação das árvores pré-definidas é feita por meio do IDC (Intelligent Data Carrier Tags);
- Projeto para navegação autônoma de máquinas florestais, iniciado, em 2002, por pesquisadores da Universidade de Umeå na Suécia. Projeto é parte de uma visão de longo prazo para construção de um veículo autônomo que transporta as toras de madeira do local de derrubada até o local de carregamento, endereçando os problemas com localização e obstáculos encontrados neste percurso. Protótipo do robô mostrado na figura 2-8.

ELIMINAÇÃO DE ERVAS DANINHA

Assim como na agricultura/horticultura, na silvicultura as ervas daninha também causam um grande transtorno, principalmente em pequenas plantações como a de pequenos pinheiros usados como árvore de natal.

Figura 2-8 – Protótipo do robô de navegação autônoma da Universidade de Umeå na Suécia. Fonte: Adaptado de Hellström, Lärkeryd e Nordfjell (2008).

Nesta área, segundo Have (2002), para se obter boa qualidade no cultivo, a eliminação de ervas daninha é essencial, porém, o atual método de eliminação (manual) causa a lixiviação de nutrientes do solo, além da diminuição da biodiversidade em volta da plantação. O autor apresenta as vantagens e desvantagens da presença de ervas daninha na área de cultivo.

Vantagens:

- Lixiviação de nutrientes é diminuída;
- Microclima é melhorado;
- Risco de erosão por água ou vento é diminuído;
- Aumento da biodiversidade.

Desvantagens:

- Aumento na competição por água, luz e nutrientes;
- Danos físicos na plantação;

- Vegetação aumenta o risco de danos por geadas;
- Tráfico é dificultado.

Have (2002) apresenta um robô denominado ACW (autonomous christmas tree weeder), conforme figura 2-9, que tem como principal função a eliminação de ervas daninha presentes na plantação de pequenos pinheiros. O robô realiza o trabalho com uma lâmina rotatória similar à de um cortador de gramas. A abrangência da ferramenta de corte é de um raio de 40 cm, que foi considerado ideal durante o desenvolvimento do projeto. O ACW deverá se locomover entre os pinheiros de maneira autônoma, removendo ervas daninha. A figura 2-10 ilustra o funcionamento do ACW.

Figura 2-9 – Autonomous Christmas Tree Weeder (ACW). Fonte: Adaptado de Have (2002).

Além da função de eliminar ervas daninha, Have (2002) descreve possíveis atividades do ACW, como por exemplo, a obtenção de informações da plantação por meio de sensores instalados no robô. Com isso, o autor estima que este sistema,

comparado ao atual sistema, possa apresentar um trabalho de melhor qualidade e vantagens ambientais consideráveis, entre elas:

- Controle efetivo de ervas daninha sem o uso de herbicidas;
- Maior biodiversidade devido a erva daninha cortada que será deixada entre as linhas de plantação;
- Redução da lixiviação de nutrientes e erosão de água;
- Redução do consumo de energia nas atividades.

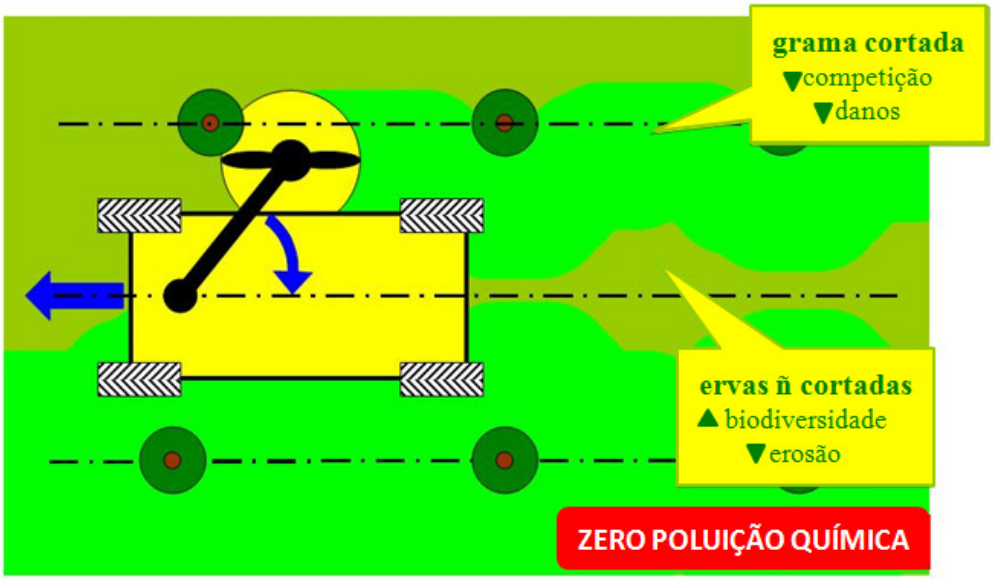


Figura 2-10 – Funcionamento do ACW. Fonte: Adaptado de Have (2002).

A conclusão de Have (2002) é que o ACW pode apresentar custo anual similar ou menor do que os apresentados nos sistemas atuais. As mudanças nos custos de sua utilização estão mais sensitivas ao custo operacional do que ao custo fixo, o que significa que o preço de aquisição de um ACW é o menos importante entre os custos.

2.3.3. ROBÔS NA AGRILCULTURA E HORTICULTURA

Priberam (2009) define a zootecnia como sendo a arte que trata da criação e multiplicação dos animais domésticos. Robôs autônomos são utilizados e até

comercializados para o auxilio/execução de atividades na zootecnia. Entre tais atividades podemos citar: alimentação de animais, proteção contra aves (para criação de peixes) e controle de qualidade de água (para tanques, lagos e etc.);

ALIMENTAÇÃO DE ANIMAIS

Jørgensen, Sørensen, et al (2007) argumentam que os animais de criação devem ser utilizados na execução de tarefas diárias, como preparação do solo, coleta de sobras da plantação após a colheita e distribuição de esterco de maneira uniforme sobre a grama. Tudo isso através da utilização de robôs autônomos que desempenham a função de alimentar os animais, e que são pré-programados para se moverem pelo campo conforme as situações encontradas no momento.

A tecnologia atual permite a realização destas atividades, como demonstram Jørgensen, Sørensen, et al (2007), no modelo de um robô autônomo para alimentação de porcos no campo. Segundo os autores, além do auxílio involuntário nas tarefas diárias, os benefícios da utilização do robô estão relacionados à saúde dos animais, que por estarem ao ar livre podem agir de maneira natural, e conseqüentemente não ficam presos próximo ao local onde urinam e defecam, além de ser desnecessária a construção de áreas para tratamento dos animais.

O robô é denominado FeederAnt, o qual apresenta capacidade para alimentar aproximadamente 10 animais ao mesmo tempo, conforme figura 2-11.

Os autores descrevem que a possibilidade de alcançar os objetivos iniciais da criação do robô (fazer com que os animais efetuem tarefas diárias involuntariamente) é existente, porém para um trabalho autônomo serão necessárias algumas soluções, como melhorar a estabilidade do robô durante a alimentação dos animais, o sistema de locomoção que apresentou problemas devido a presença de

buracos e objetos no campo, e a instalação de um aparelho para controle dos movimentos do robô através de GPS.

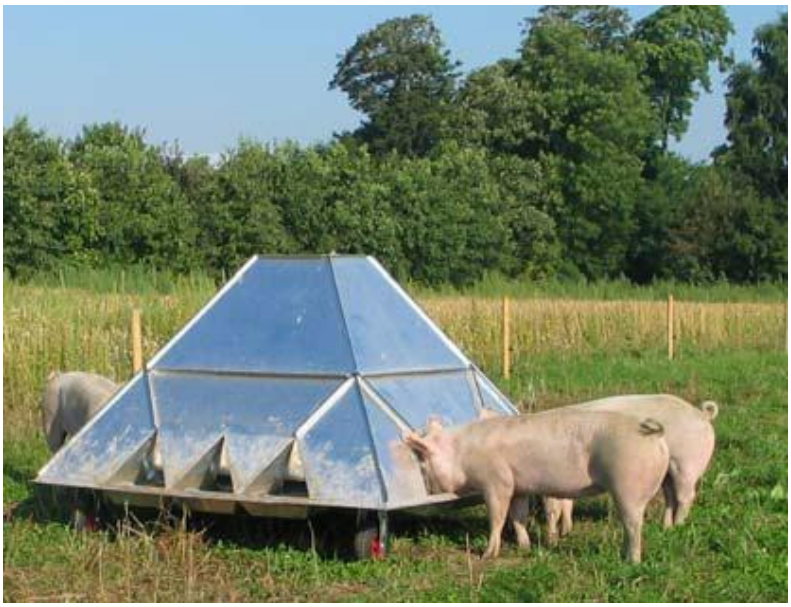


Figura 2-11 – FeederAnt alimentando porcos no campo. Fonte: Adaptado de Jørgensen, Sørensen, et al (2007).

CONTROLE E MONITORAMENTO EM LAGOS

Segundo Hall, Price, et al. (2005), robôs autônomos podem ser utilizados para monitoramento e gerenciamento de diversas atividades. Entre elas, parâmetros de qualidade de água em lagos ou controle industrial em tanques, além de servir para detectar pássaros e espantá-los por meio de diversos mecanismos, como por exemplo, através de seu movimento, proximidade física ou jatos de água.

Em (2001), Hall, Price e Wei apresentaram um robô denominado Scarebot, o qual tinha como atividade exclusiva detectar e espantar pássaros em lagos com água que possa vir a ser ingerida, a fim de reduzir a contaminação por fezes, ou em aqüicultura, para proteger a criação de peixes destes predadores, conforme figura 2-12.

A necessidade de se espantar pássaros se deve ao prejuízo que pode ser causado, quando considerada a quantidade de peixes que os pássaros podem ingerir diariamente. Após os testes feitos com o robô, foi possível diminuir em até 85% a quantidade de pássaros por hora no lago, levando à conclusão de que espantar pássaros através do uso de jatos de água é uma maneira ambientalmente amigável, não fatal, de menor custo e eficiente.

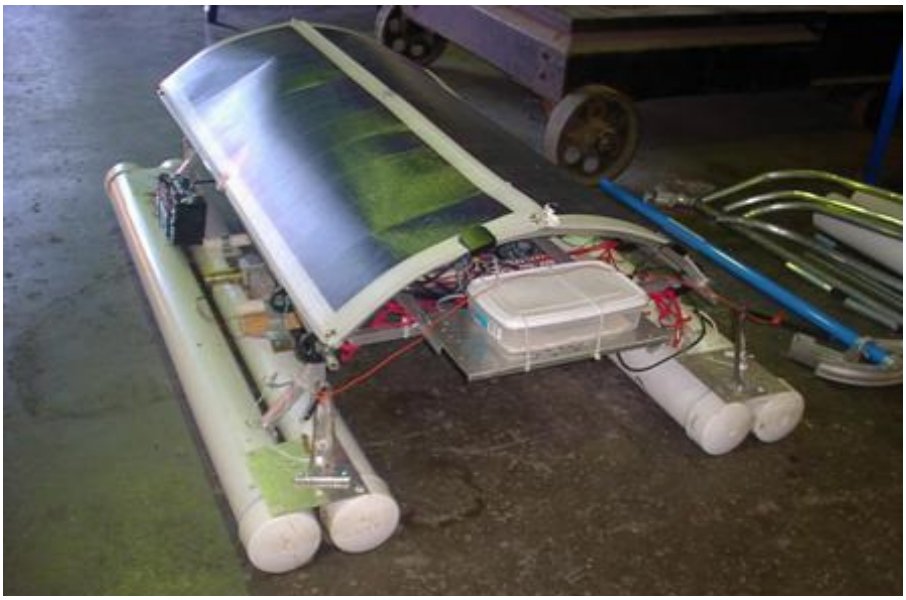


Figura 2-12 – Scarebot, robô utilizado para espantar pássaros através de jato de água. Fonte: Adaptado de Hall, Price, et al., (2005).

Em (2004), Hall, Price e Mandhani apresentaram uma versão modificada do robô apresentando em 2001, com foco no monitoramento da qualidade da água para aqüicultura. Os itens mais críticos que podem ser monitorados por este robô são: concentração de oxigênio dissolvido na água e temperatura da água.

A necessidade da execução destas atividades é para garantia da saúde dos peixes que podem ser afetados por variações nestes quesitos. Após os testes funcionais do robô, foi possível obter as informações necessárias para criação de gráficos e relatórios relacionados à qualidade da água.

A conclusão, obtida com o material apresentado neste capítulo, confirma a proposta feita por Blackmore e Fountas (2004b), a qual cita que, visando aumentar a eficiência da agricultura, horticultura e silvicultura, e ainda, investigar se múltiplas pequenas máquinas autônomas são mais eficientes que os tradicionais grandes tratores, é proposta a criação de pequenos tratores com controle inteligente.

Portanto, estes veículos deverão ser capazes de trabalhar 24 horas por dia o ano todo, na maioria das condições climáticas e portar inteligência para ter sensibilidade em ambientes semi naturais como horticultura, agricultura, parques e florestas, enquanto executam tarefas úteis.

3. QUALIDADE PARA O CLIENTE

Neste capítulo, haverá uma discussão em torno dos requisitos da qualidade do produto e a apresentação de ferramentas da qualidade, que são utilizadas na busca da satisfação do cliente.

A voz do cliente quanto a um produto nunca é única, mesmo quando se trata de um produto único, haverá múltiplas vozes do cliente. Exemplo, a voz das crianças versus a voz dos pais (CROW, 2002).

Oliver apud Zeithaml e Bitner (2003), define a satisfação do cliente como sendo a resposta ao anseio do consumidor. Trata-se da avaliação da característica de um produto ou de um serviço, ou do produto ou serviço em si, indicando que com eles se atingiu um determinado nível de prazer, o qual foi proporcionado pelo seu consumo/utilização.

Conforme relata (CROW, 2004), os clientes não estão sendo ouvidos corretamente, principalmente pelas empresas voltadas à inovação, que focam-se na difusão de novas tecnologias no mercado, ao invés de entender o que o cliente realmente precisa. Enquanto isso, as empresas, que têm seus produtos difundidos no mercado, assumem que entendem as necessidades do cliente, (ainda que nem sempre entendam), mas não reconhecem tal situação.

Apenas entendendo as expectativas do cliente é que se poderá oferecer a ele um produto de qualidade. Para que ocorra tal entendimento, diversas ferramentas e técnicas que podem ser utilizadas, entre elas estão a ferramenta QFD e a técnica de ouvir a voz do cliente, que serão apresentadas no item 3.2.

Demais disso a qualidade de um produto/serviço também é algo importante sob os pontos de vista do cliente e do fornecedor. Por esse motivo, primeiramente, se abordará o tema sobre a percepção da qualidade, no próximo item.

3.1. PERCEPÇÃO DA QUALIDADE

Segundo Banas Qualidade (2010), qualidade é um atributo subjetivo, perceptivo e condicional, que pode ser visto de maneira diferente por diferentes pessoas. Para Library Association apud Gomes (2004), qualidade é fácil de reconhecer e difícil de definir. Diferentes entidades e autores especialistas no assunto apresentam diferentes significados para o conceito de qualidade, quais sejam:

Juran e Godfrey (1979), definem qualidade como sendo a adequação de um produto ao seu uso, sendo a adequação definida pelo usuário do produto.

Taguchi (1992) apresenta qualidade com duas definições:

- Uniformidade em torno de um valor-alvo;
- Perda causada à Sociedade pelo produto, desde o momento em que este é expedido para o cliente.

Drucker (1985) define qualidade em um produto ou serviço como sendo, não o que o fornecedor adiciona, mas sim o que o cliente recebe, e ainda, que está disposto a pagar.

A American Society of Quality – ASQ (c2010) define qualidade como sendo um termo subjetivo no qual cada pessoa tem sua definição. Já na área técnica descreve qualidade com duas definições:

- As características de um produto ou serviço que afetam sua capacidade de satisfazer necessidades explícitas ou implícitas do cliente;
- Um produto ou serviço livre de deficiências.

Garvin (1992), descreve cinco definições para qualidade, cada uma baseada em uma visão:

- Na visão transcendente, qualidade é algo que, quando é visto, é imediatamente reconhecido; não é mensurável, mas sabe-se que existe;
- Na visão baseada no produto, qualidade é uma variável precisa e mensurável, podendo ser avaliada objetivamente;
- Na visão baseada no usuário, qualidade é subjetiva, conforme a preferência do consumidor;
- Na visão baseada na produção, qualidade é conforme as especificações;
- Na visão baseada no valor, qualidade é definida em termos de custos e preços, relacionando ambos os aspectos em seu resultado para o consumidor.

Baseando-se nas idéias dos especialistas no assunto, ora expostas, é possível observar que as definições para o conceito de qualidade de um produto ou de um serviço se diferem umas das outras, porém nestas diferentes idéias todos, de alguma maneira, focam a total satisfação dos clientes.

3.2. FERRAMENTAS DA QUALIDADE

Conforme a famosa frase de Charles Darwin, “não é o mais forte das espécies que sobrevive, nem o mais inteligente que sobrevive, e sim, aquele que melhor se adapta às mudanças”. Partindo deste raciocínio, podemos interpretar que, no mundo dos negócios, aquele que apresentar o produto que melhor atenda às necessidades do cliente, será o mais vendido.

Entre as maneiras possíveis para atender se as necessidades dos clientes, podemos utilizar a técnica de ouvir a voz do cliente (Mcquarrie (2006) e Caterpillar (2004)), e as ferramentas Modelo Kano (Kano, Seraku, et al. (1984) e Kanomodel (2010)), QFD (AKAO, 1990) entre outras.

OUVIR A VOZ DO CLIENTE

“Ouvir a voz do cliente” é o termo utilizado para o entendimento das expectativas, preferências, necessidades e reclamações do mesmo. A voz do cliente é uma técnica de pesquisa de *marketing* que mostra as necessidades e solicitações do cliente detalhadamente, e ainda, podem ser direcionadas por uma estrutura hierárquica que prioriza os itens conforme sua importância e satisfação com as alternativas atuais (MCQUARRIE, 2006).

Segundo o treinamento “Faixa Preta Seis Sigma” (CATERPILLAR, 2004), o melhor entendimento da voz do cliente pode ser obtida através da estruturação das perguntas por áreas, como:

Qualidade, exemplo: benefícios gerados pela utilização do produto/serviço;

Custo, exemplo: benefícios que o custo gera ao cliente;

Entrega, exemplo: prazo de entrega;

Serviços e segurança, exemplo: pós venda e projeto que garante a segurança do cliente;

Responsabilidade corporativa, exemplo: necessidades legais, referentes às normas e ao meio-ambiente.

O MODELO KANO

Uma ferramenta utilizada para o entendimento da importância de cada atributo de qualidade, dado pelo cliente, é o Modelo Kano (figura 3-1). Este modelo cita que o contentamento do cliente pode aumentar, extremamente, a partir de um pequeno melhoramento em uma determinada característica no produto, enquanto que para outra característica o contentamento aumenta muito pouco, mesmo que este melhoramento (de uma característica) seja extraordinário (KANO, SERAKU, *et al.*, 1984).

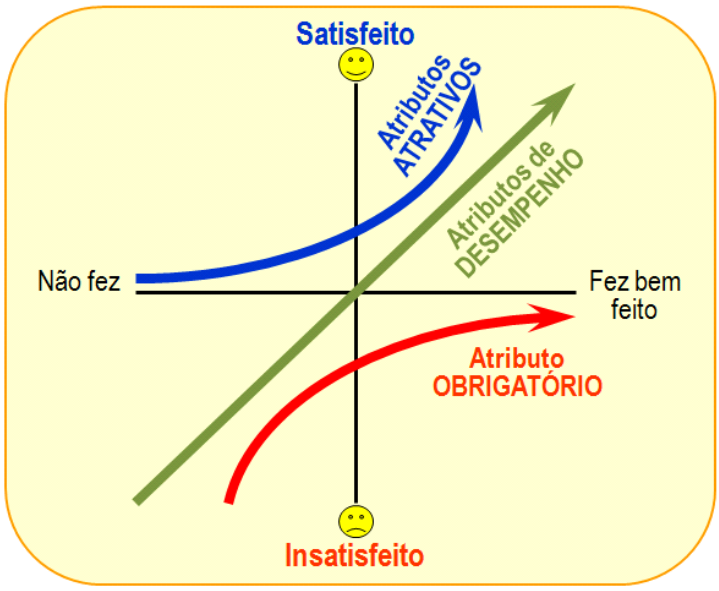


Figura 3-1 – Modelo Kano. Fonte: Adaptado de Kanomodel (2010).

Segundo Kanomodel (2010), o Modelo Kano divide os atributos de um produto em três categorias.

Atributos de desempenho: são aqueles que quanto mais apresentado, ou quanto maior o desempenho a satisfação do cliente será maior também. No entanto, a ausência deste atributo reduz a satisfação do cliente. O preço que o cliente está disposto a pagar encontra-se diretamente ligado a este atributo. Por exemplo, o cliente está disposto a pagar um valor maior por um carro que é mais econômico no consumo de combustível.

Atributos obrigatórios: devem estar presentes no produto, pois, do contrário, o cliente ficará insatisfeito. No entanto, se estiver presente ou se apenas atender à necessidade do cliente, não trará satisfação. Um cliente pode não perceber a existência deste atributo, mas ficará tremendamente insatisfeito no caso de ausência. Por exemplo, a existência de papel higiênico no banheiro do hotel não será notada pelo cliente, mas a sua falta gerará uma grande insatisfação.

Atributos atrativos: são aqueles não solicitados e inesperados pelo cliente, mas que resultam em alto índice de satisfação. Porém, falta não resulta na insatisfação do cliente. Atributos atrativos podem satisfazer necessidades ocultas dos clientes, que são aquelas que o cliente necessita, mas não está ciente delas. Por exemplo, a disponibilidade de uma tomada 110 v no carro: os clientes vão se utilizar dela, devido à comodidade proporcionada, mas se não existir tal tomada, o cliente pode nem notar.

Uma observação, referente ao Modelo de Kano, está na mudança das necessidades com o passar do tempo: o que foi um atributo atrativo ontem, é um atributo de desempenho hoje, e será um atributo obrigatório amanhã. Como exemplo, podemos citar a presença de câmera fotográfica em celulares (KANOMODEL, 2010).

QFD - QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT

Akao apud Mazur (2010), em uma de suas conferências declarou, “Houve tempo em que um homem podia encomendar um par de sapatos diretamente do sapateiro. Através da medição do próprio pé que iria utilizar o sapato e sendo capaz de determinar todos os aspectos da manufatura, o sapateiro poderia garantir que o cliente estaria satisfeito”.

Segundo QFD Institute (2010), na década de 1960, Akao explorava maneiras de projetar produtos corretamente na primeira vez, quando análises mais profundas, em um diagrama de espinha de peixe, o levaram a uma matriz para identificar os elementos de projeto que iriam impactar a satisfação do cliente da melhor maneira possível. Foi assim, que ele se tornou um dos fundadores do QFD (Quality Function Deployment – Desdobramento da Função Qualidade).

Akao (1990), define o QFD como sendo um método para transformar as necessidades do usuário em qualidade do projeto, é desdobrando as funções para formar qualidade, é garantir qualidade em cada fase do desenvolvimento do produto, é alcançar a qualidade desejada nos subsistemas, componentes e elementos específicos, começando pelo projeto.

O QFD é uma ferramenta voltada para atender às necessidades dos clientes, e por ser utilizada por mais de quatro décadas, é a que apresenta mais abordagens na literatura, através de diferentes métodos e modelos possíveis de aplicação.

Mazur (2010) descreve que o QFD, por ser um sistema de qualidade que mescla sistemas de pensamento com elementos psicológicos e de conhecimento, provê um sistema para entendimento de diversos processos, entre eles:

- Entendimento das reais necessidades do cliente através de sua própria perspectiva;
- O significado de valor para o cliente, através de sua própria perspectiva;
- Entendimento de como o cliente se torna interessado, escolhe e fica satisfeito;
- Decidir quais atrativos incluir;
- Determinar o nível de desempenho a ser entregue;

Conforme Chan e Wu (2004), um QFD deve conter a maioria dos elementos e conceitos listados a seguir:

1. Identificar os clientes potenciais do produto;
2. Listar os requisitos dos clientes;
3. Estruturar os requisitos dos clientes;
4. Definir as prioridades dos requisitos dos clientes;
5. Identificar os produtores concorrentes;
6. Comparar o produto dos concorrentes em termos de desempenho dos requisitos prioritários dos clientes;
7. Identificar vantagens competitivas sobre a comparação do desempenho dos requisitos prioritários dos clientes;
8. Nível de importância final dos requisitos.

Segundo o treinamento “Faixa Preta Seis Sigma” (CATERPILLAR, 2004), a definição operacional do QFD engloba duas noções chaves. A primeira delas é a tradução dos requisitos externos para os requisitos internos. A segunda é o desdobramento dos requisitos através das funções em um universo com alta qualidade na tradução e comunicação dos objetivos originais do cliente.

O QFD é uma ferramenta que, por atuar nas fases iniciais do projeto, faz com que ocorram menos mudanças e mudanças menos caras, menor tempo e menor custo no desenvolvimento, menos problemas na concepção do produto, menor custo com garantia, gerando assim, o encantamento dos clientes (CATERPILLAR, 2004).

3.3. APLICAÇÃO CONJUNTA DAS TÉCNICAS E FERRAMENTAS

De acordo com o treinamento "Faixa Preta Seis Sigma", desenvolvido por Caterpillar (2004), durante o processo de desenvolvimento de novos produtos / tecnologias são aplicadas todas as técnicas e ferramentas apresentadas neste capítulo. O processo de aplicação segue a seguinte seqüência: ouvir a voz do cliente, analisar a importância de cada atributo através do Modelo Kano e transformar a voz do cliente na voz do projeto através do QFD, conforme apresentado a seguir.

Método de ouvir a voz do cliente, conforme tabela 3.

Tabela 3 – Métodos de ouvir a voz do cliente. Fonte: Adaptado de Caterpillar (2004).

Ouvir a Voz do Cliente
Realizar entrevistas com os clientes
Realizar pesquisas de mercado
Analisar as reclamações dos clientes
Analisar a durabilidade do produto
Entender migrações para a concorrência
Atributos oferecidos pela concorrência
Analisar as tendências de mercado

O modelo Kano é utilizado na tentativa de identificar atributos a mais que o cliente não deixou explícito, mas que possa lhe interessar. Visualizar, de maneira gráfica a satisfação do cliente *versus* o degrau de atendimento de cada atributo.

Abordagem ao QFD para produtos, conforme figura 3-2.

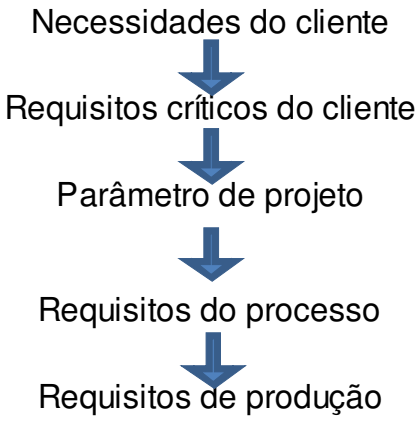


Figura 3-2 – Abordagem ao QFD. Fonte: Adaptado de Caterpillar (2004).

No capítulo 6, o tema sobre a aplicação das técnicas e ferramentas visto neste capítulo será abordado de maneira prática, por meio de discussão em torno de artigos publicados por especialistas na área.

4. MÉTODO DA PESQUISA

Neste capítulo, será apresentado o método utilizado na pesquisa, a classificação em relação à sua natureza, o procedimento técnico utilizado, seu propósito e as etapas da pesquisa e concepção do trabalho.

4.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS – ROBÔS AUTÔNOMOS DE QUALIDADE

Como pôde ser visto nos capítulos anteriores, existe uma notável necessidade da utilização de robôs autônomos em diversos segmentos de mercado, como na agricultura/horticultura, silvicultura e zootecnia, justificando a existência dos diversos estudos por parte de diferentes grupos de pesquisa.

Constatada a necessidade de robôs autônomos, desempenhando diferentes tarefas no campo, um dos pontos a ser seguido é a garantia a satisfação dos futuros clientes quanto ao seu desempenho funcional, funcionalidade, viabilidade na aplicação, entre outros, e ainda, vencer a concorrência com outros produtos. Para tanto, um robô deve atender aos requisitos da qualidade explícitos e implícitos do cliente.

Porém, a satisfação do cliente quanto à qualidade do robô não é uma tarefa simples. Com o objetivo de garanti-la, diversas ferramentas poderão ser utilizadas. Nos próximos capítulos, será relatada a aplicação destas ferramentas da qualidade, conforme o estudo de diversos grupos de pesquisadores especialistas no assunto, e também a pesquisa de campo realizada por meio da análise do atendimento dos

requisitos do cliente em um robô agrícola já existente, o qual não teve seu projeto detalhado com base nestes itens.

Devido à escassez de material relacionado à silvicultura e à zootecnia, na aplicação das ferramentas de qualidade em projetos de robôs nestas respectivas áreas, os relatos dos próximos capítulos serão focados apenas na agricultura e horticultura. Daqui por diante, serão descritos somente como robôs agrícolas.

4.2. ABORDAGEM METODOLÓGICA

O presente trabalho é de cunho teórico-prático, um estudo de caso concludente da análise literária, comparação de métodos e pesquisa de campo, resultando num material de referência para se definir os requisitos de qualidade para robôs agrícolas.

O trabalho apresenta, ainda, uma revisão bibliográfica, item este, que segundo Noronha e Ferreira (2000), categorizado de acordo com seu propósito, abrangência, função e tipo de análise desenvolvida ou abordagem. A revisão deste trabalho pode ser classificada como descrito a seguir:

O trabalho apresenta também uma revisão bibliográfica, item que segundo Noronha e Ferreira (2000), são categorizadas de acordo com seu propósito, abrangência, função e tipo de análise desenvolvida ou abordagem. A revisão deste trabalho pode ser classificada como descrito a seguir:

Propósito de tipo analítico por ser uma revisão sobre temas específicos, fornecendo um panorama sobre eles e agrupando vários desenvolvimentos ocorridos.

Abrangência de tipo temática por ser um trabalho focado em um recorte específico sobre requisitos de qualidade para robôs agrícolas.

Função de atualização, pois menciona estudos publicados recentemente sobre o tema, destacando os trabalhos mais importantes sobre ele, servindo tanto para aqueles que se aprofundam no tema, quanto para pesquisadores iniciantes em um novo projeto relacionado aos requisitos de qualidade para robôs agrícolas.

Abordagem do tipo bibliográfica devido à bibliografia anotada, considerando a compilação de documentos selecionados, sem grande análise crítica sobre eles, servindo como base para comparação de diferentes abordagens e permitindo a seleção das de maior interesse.

4.3. PROCEDIMENTO DA PESQUISA

O procedimento de pesquisa utilizado neste trabalho foi dividido em três etapas:

Levantamento das Informações

Foi realizado o levantamento das informações referentes aos robôs autônomos e à qualidade assegurada ao cliente, por meio de uma pesquisa bibliográfica, realizada em diversos segmentos (materiais) especializados no assunto:

- Seções de livros, como, Stafford (2007), Munack (2006) e Genichi Taguchi (1992);
- Periódicos e conferências, como, o “Agricultural engineering international: the CIGR Ejournal”, e o “ASABE Annual international meeting”;
- Páginas na internet relacionadas a robôs autônomos agrícolas e a ferramentas da qualidade, como, “Unibots.com – Agricultural Robotics

Portal", "The Wageningen Field Robot Event", "QFD Institute" e "Discoreving The Kano Model";

- Teses e dissertações, como, Bakker (2009), Vestlund (2005), Dang (2009) e Madsen e Jakobsen (2001);
- Contato com autores de artigos especializados no assunto, como, Steven G. Hall, Thomas Hellström e Claus Aage Grøn Sørensen;
- Treinamento Faixa Preta Seis Sigma.

Pesquisa de campo

Após o levantamento e entendimento das informações relacionadas aos requisitos da qualidade em projetos de robôs agrícolas, foi realizada uma entrevista com um pesquisador responsável pelo desenvolvimento de um robô deste tipo, com o objetivo de comparar os requisitos da qualidade voltados à satisfação dos clientes e às características por ele apresentadas.

Relato das informações encontradas

O relato das informações foi feito de uma maneira que permita ao leitor um simples entendimento da evolução da robótica em geral, e em especial, à agrícola, seguida da necessidade de robôs no mercado agrícola, a qual é descrita e evidenciada por meio de diversos exemplos de projetos de robôs já existentes no meio acadêmico.

A necessidade da qualidade para o cliente é defendida por meio da discussão e comparação de abordagens relacionadas ao assunto, estruturada pelos tópicos "percepção da qualidade" e "ferramentas da qualidade", nos quais teorias, técnicas e ferramentas para garantia da qualidade são descritas.

A seguir, considerações sobre robôs agrícolas serão relatadas, bem como três modelos de real aplicação de ferramentas da qualidade. A finalização do trabalho é feita com a descrição da entrevista, focada na aplicação de ferramentas da qualidade, realizada com um pesquisador responsável pelo desenvolvimento de um robô agrícola.

4.4. ETAPAS DA PESQUISA

A pesquisa realizada para criação deste trabalho contemplou as seguintes etapas:

- Estudo superficial das áreas de agricultura, horticultura, silvicultura e zootecnia, a fim de identificar as atividades passíveis de robotização;
- Estudo do funcionamento de robôs autônomos;
- Estudo do mercado potencial para robôs autônomos;
- Estudo das ferramentas da qualidade de possível utilização no projeto de robôs autônomos;
- Entendimento da aplicação das ferramentas da qualidade no projeto de robôs autônomos;
- Entrevista com pesquisador responsável por robô agrícola.

5. ROBÔS AGRÍCOLAS AUTÔNOMOS

Neste capítulo será apresentada uma discussão sobre o projeto de robôs agrícolas autônomos.

Robôs autônomos são máquinas inteligentes capazes de desempenhar tarefas por si mesmas sem controle humano de seus movimentos, por longos períodos de tempo, além de se adaptarem a mudanças de ambiente, até certo limite (BEKEY, 2005).

5.1. DIFERENTES TIPOS DE ROBÔS AGRÍCOLAS

Segundo Bekey (2005) dentre suas diversas atividades, um robô inteiramente autônomo deve ter as seguintes habilidades:

- Mover-se de um lado para o outro dentro de seu ambiente de trabalho, sem auxílio humano;
- Captar informações sobre seu ambiente de trabalho;
- Trabalhar por um longo período sem intervenção humana;
- Evitar situações que possam ser prejudiciais às pessoas, ao ambiente de trabalho, ou a si mesmos, a menos que estas situações façam parte de suas especificações de projeto.

Robôs autônomos agrícolas podem ser tanto móveis, quanto de base fixa. Os móveis, na maioria, das vezes são utilizados em campos abertos em diversas funções, tais como preparação do solo para várias utilizações, adubagem, eliminação de pragas, identificação e/ou eliminação de insetos e ervas daninha, coleta de informações da plantação em geral (qualidade das frutas, qualidade do

solo, etc.) e colheita de frutos ((NOGUCHI, REID, *et al.*, 2001), (JøRGENSEN, SøRENSEN, *et al.*, 2006), (JøRGENSEN, SøRENSEN, *et al.*, 2006), (ÅSTRAND e BAERVELDT, 2002) (BAKKER, VAN ASSELT, *et al.*, 2006), (DANG, 2009) e (NAGASAKA, ZHANG, *et al.*, 2004a)).

Os robôs de base fixa são utilizados para as mesmas operações, porém em ambientes fechados ((KONDO, NINOMIYA, *et al.*, 2005) e (VAN HENTEN, HEMMING, *et al.*, 2003)).

5.2. VISÃO SISTÊMICA SOBRE ROBÔS AGRÍCOLAS

A proeminente necessidade de robôs agrícolas no mercado, conforme argumentado anteriormente, tem incentivado a realização de diversas pesquisas nesta área, contudo o escopo das pesquisas foca o desenvolvimento individual do projeto de cada robô e não a necessidade da agricultura em relação aos robôs.

Figura 5-1 – Diagrama das oito perspectivas de robôs agrícolas. Fonte: Adaptado de Blackmore (2007).

Segundo Blackmore (2007), esta condição faz com que os projetos de robôs não atinjam o nível máximo de qualidade possível. Assim, para tal realização, uma

das técnicas que pode ser aplicada é a análise deste nicho sob múltiplas perspectivas, a qual possibilita uma visão sistêmica dos pontos fortes e fracos do projeto em geral. Contudo, esta técnica requer idéias radicais e pensamentos laterais para a obtenção de sucesso.

Para exploração desta idéia, o autor identifica oito perspectivas que devem ser abordadas no desenvolvimento de um robô agrícola. São elas: Segurança, Energia, Economia, Meio Ambiente, Gerenciamento, Mecanização, Tecnologia e Sociedade, conforme apresentado na figura 5-1.

Segurança

Três pontos chave devem ser considerados para esta perspectiva: Segurança para terceiros, segurança para a plantação e segurança para si mesmo.

A segurança para terceiros deve assegurar que animais, pessoas, objetos e etc. não corram riscos durante as operações do robô. Considerando que o robô não será tripulado e poderá trabalhar por um maior período de tempo, sua programação deve garantir que no caso de dúvida na interpretação do que deve ser feito, a decisão a ser tomada deve dar mais importância a precaução de um possível acidente.

O robô será projetado de maneira que, todas as possíveis condições que ele venha a enfrentar na plantação, execução destas não cause danos à plantação. Um exemplo disto é o projeto de um robô que apresente distância sobre a terra suficiente para sua locomoção, mesmo que a plantação esteja em seu estado de crescimento máximo.

A segurança para si mesmo visa garantir que o robô não se coloque em situações que possam prejudicar sua integridade e funcionamento. Entre as

situações que devem ser evitadas pode-se citar o choque do robô com postes ou outras unidades, e ainda, a entrada em valas inundadas.

Outros pontos que devem ser considerados nesta perspectiva são a prevenção de roubo e a degradação de maneira segura em seu funcionamento, no caso de falha parcial em seus sistemas.

Energia

Nesta perspectiva é abordada a eficiência no uso de energia durante as diferentes tarefas que serão desempenhadas, e ainda a possibilidade do robô apresentar autonomia energética.

A quantidade de energia a ser utilizada deve ser a menor possível para realização de determinada tarefa. Exemplo disto é a utilização de micro-jatos na aplicação de produtos químicos para eliminação de ervas daninha.

O conceito de autonomia energética visa o funcionamento do robô através de energia obtida em seu local de trabalho. Por exemplo, um robô híbrido com sistemas de baterias e um motor movido a biocombustível capaz de captar e processar o material para criação do mesmo.

Economia

Sob a perspectiva econômica, durante o desenvolvimento do projeto deve ser levado em consideração, entre outros fatores, o custo da aquisição de um robô em função do benefício gerado nas tarefas por ele desempenhadas.

O investimento necessário para a obtenção de um robô, dependendo das tarefas que ele será capaz de desempenhar pode ser de valor considerável, como por exemplo, uma unidade que possua um RTK-GPS, o qual, em 2007, custava

entre €15.000 e €20.000, necessitará também para seu funcionamento de sensores e computadores.

Contudo, quando se considera a substituição permanente do custo da mão de obra e a precisão na execução das tarefas, o investimento inicial de maior valor será compensado ao longo do tempo.

Meio Ambiente

O impacto que o meio ambiente irá sofrer, com a utilização de robôs, deve ser considerado durante o desenvolvimento do projeto do robô. Este impacto pode ser tanto positivo quanto negativo, por exemplo:

- Positivo: possibilidade da aplicação de herbicida somente no local desejado na menor quantidade possível;
- Negativo: dano ao solo devido compactação excessiva gerada pelo trabalho em condição de alta umidade.

Um dos objetivos do projeto deve ser garantir que os efeitos dos impactos positivos apresentem alto índice de otimização e que as situações que geram impactos negativos sejam minimizadas. O impacto positivo, citado anteriormente, pode ser maximizado através da utilização de sensores para detecção da velocidade do vento antes da aplicação de herbicidas, garantindo assim a aplicação somente da quantidade de produto necessária. Por sua vez, o impacto negativo, citado anteriormente, pode ser diminuído através da utilização de equipamento capaz de detectar a condição do solo antes do trabalho.

Gerenciamento

O projeto do robô deve garantir a possibilidade de ele ser facilmente gerenciado. Considerando a quantidade de decisões que um robô autônomo deve

tomar durante seu processo operacional, sua lógica de decisões deve ser de fácil entendimento e apresentar flexibilidade suficiente para ser modificada por seu gerente. Além disto, deve apresentar a possibilidade de uma reprogramação geral do robô, permitindo que ele desempenhe a atividade que seu gerente queira e não a atividade que seu programador pensou que ele iria querer.

Outras funcionalidades que facilitem a interação entre o gerente e o robô podem ser consideradas, como por exemplo, durante o monitoramento da plantação qualquer irregularidade encontrada pelo robô pode ser registrada para análise subseqüente do gerente, possibilitando assim a não necessidade de tratamentos profiláticos e se identificado suficientemente cedo, problemas futuros podem ser remediados. Esta atividade permite o racionamento de recursos econômicos e ambientais.

Mecanização

Sob esta perspectiva, deve ser considerada a necessidade do sistema mecanizado do robô permitir um projeto mais centrado à planta do que os existentes atualmente. A maior parte das máquinas agrícolas é projetada para atender simplicidade e robustez, porém robôs autônomos podem utilizar as vantagens da abordagem mecatrônica para realizar um trabalho melhor.

Para obter sucesso, o projeto do sistema de mecanização centrado à planta deve considerar três fases principais dentro do ciclo da cultura: Plantio, manejo e colheita.

Tecnologia

O nível de autonomia que um robô deve apresentar, sua confiabilidade baseada em sistemas computacionais e a arquitetura de seu sistema são itens que devem ser considerados sob a perspectiva tecnologia.

Sociedade

Sob esta perspectiva, deve ser considerada a aceitação do robô pela sociedade, o que segundo o autor, é algo que ocorrerá naturalmente. Considerando que os robôs não são vistos como uma ameaça física as pessoas e podem até serem vistos como belos, porém inevitavelmente, eles irão substituir seres humanos nas tarefas diárias, o que poderá causar problemas morais a diversas pessoas.

Após a apresentação destas diferentes perspectivas, o autor cita que através delas pode-se entender melhor as vantagens, desvantagens e implicações possíveis de serem encontradas nos robôs, e que a maioria dos problemas encontrados atualmente poderão ser resolvidos nos próximos anos devido a queda no preço dos itens computacionais e aos avanços tecnológicos.

6. APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS DA QUALIDADE EM ROBÔS AGRÍCOLAS

Neste capítulo será demonstrada a aplicação de ferramentas da qualidade em diferentes projetos de robôs agrícolas autônomos.

Van Henten (2003) cita que “atingir uma coordenação olho-mão veloz e precisa é um dos aspectos mais desafiadores no desenvolvimento de uma máquina colheitadeira automática”. Isso se devido a dificuldade de criar um sistema que capte a informação visual e a transfira para controles de movimento em tempo real, garantindo que não ocorram colisões durante a movimentação.

Conforme descrito no capítulo 3, a fim de satisfazer as necessidades dos clientes, diversas ferramentas podem ser utilizadas. Neste capítulo serão feitas as considerações sobre a qualidade de um robô agrícola sob o prisma de três autores/grupo de autores. São eles: Bakker (2009), Blackmore et al. (2002), (2004), (2007a) e Sørensen et al. (2006), (2007), (2008) e (2009).

Começando pelo projeto “robô para controle de ervas daninha” de Bakker, nele foi utilizada a ferramenta “ouvir a voz do cliente”, a qual abrangeu potenciais clientes, cientistas e consultores agrícolas.

Em seguida, por Blackmore, que relatam os requisitos de sistemas para tratores agrícolas, baseado em pesquisa de campo e situações idealizadas para trabalho dos robôs.

Finalizando, com Sørensen, apresentando o projeto robô agrícola Hortibot baseado na aplicação da ferramenta QFD, a partir da qual se definiu as necessidades do projeto do robô e as dividiu por categorias principais.

6.1. OUVINDO A VOZ DO CLIENTE

O trabalho de Bakker (2009) retrata a aplicação da ferramenta "ouvir a voz do cliente" de uma maneira mais abrangente do que a apresentada no item 3.2. Em sua abordagem, além da entrevista com usuários potenciais de robôs agrícolas, também foram entrevistados cientistas e consultores especialistas na área. Suas entrevistas tiveram como objetivo adquirir informações dos entrevistados a partir da seguinte frase "Substituição da capina manual na agricultura por um dispositivo de trabalho autônomo no campo". A apresentação do resultado foi realizada através da divisão dos requisitos dos clientes em dois tipos de categorias: requisitos fixos e requisitos variáveis.

Requisitos fixos:

- Substituir a eliminação manual de ervas daninha na agricultura;
- Aplicável em combinação com outros tipos de controle de ervas daninha;
- Controle manual do veículo deve ser possível devido necessidade de movimentação do veículo em distâncias curtas;
- Eliminação de ervas daninha de maneira autônoma;
- Capaz de trabalhar dia e noite;
- O robô não pode ultrapassar as delimitações do campo;
- O robô deve ser capaz de se reiniciar por si mesmo após uma parada de emergência;
- O robô deve informar ao agricultor quando houver parado definitivamente (ex.: parada por motivo de segurança ou quando suas atividades foram finalizadas);

- O robô deve enviar sua situação operacional quando solicitada pelo usuário;
- O robô de funcionar apropriadamente em cultivo de beterraba.

Requisitos variáveis:

- Remover mais de 90% das ervas daninha na linha de cultivo;
- O custo por hectares deve ser compatível a eliminação de ervas daninha manualmente, ou menor;
- O dano à plantação deve ser pelo menos tão baixo quanto ao processo manual;
- A pressão da roda do robô sobre a terra não pode ser maior do que a pressão por eliminação mecânica de erva daninha;
- A eficiência na utilização de energia deve ser tão alta quanto do processo mecânico;
- Emissão de ruído menor ou igual ao processo mecânico;
- Seguro para pessoas, animais e a propriedade;
- Necessidade de supervisão menor do que no processo manual;
- Complexidade de operação menor do que do processo mecânico;
- Confiabilidade no funcionamento;
- Adequado como plataforma de pesquisa para necessidades/mudanças futuras;

Em seguida, com base nos requisitos, foram identificadas as funções a serem desempenhadas pelo robô, as quais foram agrupadas em um diagrama de bloco de funções conforme apresentados na figura 6-1.

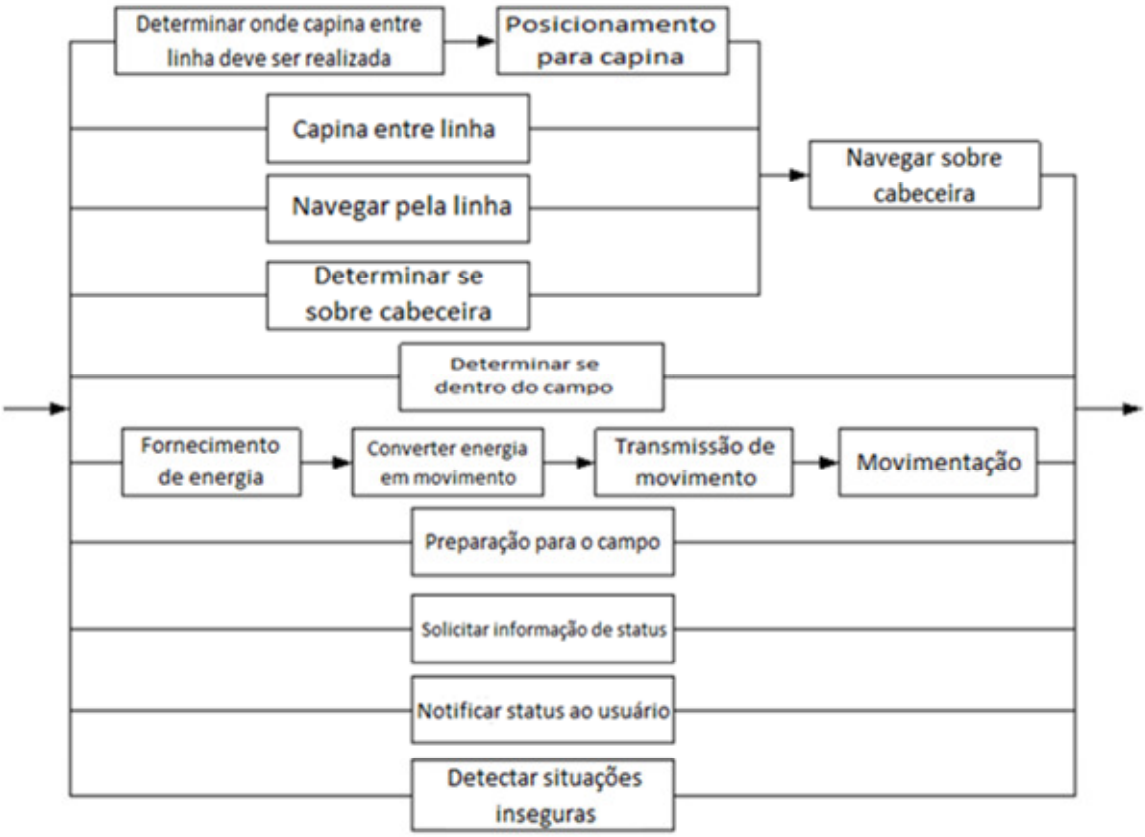


Figura 6-1 – Diagrama de bloco das funções a serem desempenhadas pelo robô. Fonte: Adaptado de Bakker (2009).

A definição das alternativas de projeto, baseada nos requisitos dos clientes e nas funções a serem desempenhadas pelo robô, foram listadas em um gráfico morfológico, tiveram seus pesos confrontados um com o outro, e baseado na experiência dos envolvidos no projeto, um conceito da solução final foi criado.

6.2. REQUISITOS DE SISTEMAS BASEADO EM PESQUISA DE CAMPO

Blackmore et al. apresentam os requisitos de sistemas de um robô agrícola baseado em pesquisas e situações idealizadas para trabalho no campo vivenciadas pelos próprios autores. O conceito desta pesquisa é o mesmo utilizado na

ferramenta Ouvir a Voz do Cliente, contudo, nesta aplicação, o detalhamento técnico das necessidades é realizado em maior magnitude, quando comparado às outras abordagens apresentadas neste capítulo.

As características abaixo, foram identificadas como necessárias na criação do conceito do sistema de um robô agrícola:

- Pequeno (quando comparado a um trator) e conseqüentemente não tripulado;
- Leve;
- Capacidade de se comportar de maneira segura, mesmo em caso de falhas parciais de sistema;
- Capacidade de interagir e se comunicar com outras máquinas;
- Comportamento sensível ao ambiente que se encontra;
- Desempenhar elevado número tarefas.

O motivo dos autores descreverem a necessidade destas características em um robô agrícola, assim como sua definição, está detalhado a seguir.

PEQUENO (QUANDO COMPARADO A UM TRATOR)

A necessidade de um robô pequeno, e conseqüentemente não tripulado, é defendida mediante a comparação da quantidade de vantagens desta característica em relação à quantidade de desvantagens.

Vantagens de um robô pequeno:

- Necessidade de menor quantidade de investimento incremental;

- Relativamente seguro durante falhas de sistema (tanto para pessoas quanto para a propriedade e outros);
- Maior capacidade de se manobrar;
- Realizar trabalhos de seleção e tratamentos de precisão;
- Não tripulado proporciona a possibilidade de trabalhar por maior quantidade de horas;

Desvantagem de um robô pequeno:

- Menor desempenho de trabalho.

Apesar de apresentar menor desempenho de trabalho como desvantagem, a última das vantagens apresentada compensa a utilização do robô.

LEVE

Um robô mais leve apresenta somente vantagens na sua utilização, conforme descrito abaixo:

- Possibilidade de trabalhar com menor utilização de energia;
- Causa menor compactação do solo;
- Independência da condição do solo para trabalhar (ex.: solo molhado);
- Menor risco a segurança (pessoas e propriedades) durante falhas no sistema.

CAPACIDADE DE SE COMPORTAR DE MANEIRA SEGURA

Um robô deve operar de maneira segura sob qualquer circunstância, mesmo durante falha parcial de seus sistemas. A possibilidade de uma falha catastrófica é inaceitável. Para garantir a operação do robô em segurança, é preciso que haja recepção de informação quanto aos sistemas que falharam ou que possam falhar, a partir do qual se torna possível a utilização de sistemas redundantes, que permitem o processo conhecido como “tolerância à falha”. Neste processo, em caso de ocorrência

de falha em componentes, o sistema principal é capaz de se manter em funcionamento mesmo com uma capacidade reduzida. Com isso é possível aumentar a garantia da operação segura do robô. O processo de tolerância a falha é composto por seis níveis de funcionalidade:

1. Operação normal de segurança – Todo o robô e sistemas de implementos operam dentro dos parâmetros normais;

2. Operação segura com avisos – Operando de forma segura, porém com alguns avisos de anormalidades (ex.: baixa quantidade de combustível);

3. Parada parcial do sistema, ainda móvel – Parada parcial, porém se mantém móvel (ex.: lentes da câmera obstruídas).

4. Parada parcial do sistema, imóvel – Parada parcial, robô imóvel (ex.: falha no sistema de transmissão).

5. Parado, ainda se comunicando – Completamente parado, porém continua se comunicando com o coordenador (ex.: falha interna).

6. Morto – Sistema completamente parado, ou sem comunicação com o coordenador.

Além do funcionamento de maneira segura, tolerando falha, um robô tem que ser capaz de detectar a aproximação de uma pessoa e se manter em módulo de segurança até que a pessoa se distancie. Esta característica pode ser útil quando se leva em consideração que, um veículo pequeno e leve é um grande atrativo para roubos. Portanto, o robô deve também ser capaz de disparar um alarme em caso de risco de roubo, através da detecção da aproximação de pessoas seguida de, por exemplo, sua movimentação mesmo sem a existência de energia nos motores de direção.

CAPACIDADE DE INTERAGIR E SE COMUNICAR COM OUTRAS MÁQUINAS

Ser capaz de interagir e se comunicar com máquinas e outros robôs, é uma característica importante para um robô agrícola, pois permite o gerenciamento das atividades de diversas unidades no mesmo espaço ao mesmo tempo. Para isso, é necessário um Sistema de Gerenciamento de Informação (MIS – Management Information System), o qual possibilita a total avaliação e controle das unidades e suas funções. Através dele podem ser realizadas solicitações de alto nível, como monitorar o nitrogênio na plantação, ou então, executar a eliminação de ervas daninha na linha de semeadura do campo cinco, utilizando a ferramenta número dois.

Com essa ferramenta é possível criar três categorias principais de atividades: coordenação, cooperação e colaboração em diferentes tarefas. Elas ajudam a aumentar a taxa de trabalho, focar as unidades nas tarefas críticas, entre outros.

Coordenação de múltiplas unidades

Com o MIS é possível a coordenação de múltiplas unidades, cada uma trabalhando independente das outras, executando suas próprias tarefas, sem necessariamente saber das atividades das outras. Um exemplo disso pode ser dez unidades trabalhando em dez campos diferentes.

Cooperação entre múltiplas unidades

A cooperação é quando múltiplas unidades trabalham no mesmo campo, estando cientes da presença das outras e do trabalho que elas desempenham. Uma situação real seria o caso de duas unidades estarem executando a capina no mesmo campo, cada uma sabendo em qual linha a outra está trabalhando antes de

selecionar uma linha para percorrer. Para isso seria necessária uma comunicação em tempo real entre as unidades através de uma aplicação P2P.

Colaboração entre múltiplas unidades

Verifica-se a colaboração quando múltiplas unidades podem compartilhar a mesma tarefa, e ao mesmo tempo. Por exemplo: mais de uma unidade puxar um trailer ao mesmo tempo (um trailer que não seja possível de ser puxado por somente um robô).

Através da possibilidade da coordenação, cooperação e colaboração entre múltiplas unidades, quando uma nova atividade for planejada ou uma nova unidade for adicionada ao grupo, se torna possível a simulação de uma rotina apurada, definição de estratégias, rotas iniciais, posicionamento, interação das unidades, etc.

COMPORTAMENTO AUTONÔMO SENSÍVEL AO AMBIENTE

Para que o robô seja capaz de apresentar um comportamento autônomo, sensível ao ambiente que se encontra, é preciso que suas ações sejam definidas em termos de operações, tarefas e comportamentos. Desta maneira, uma definição de comportamento autônomo de um robô pode ser expressa como “sensível ao comportamento em longo prazo, não vigiado em um ambiente semi natural enquanto desempenha uma tarefa útil”.

Com isso, o comportamento do robô será o resultante da leitura por ele obtida a partir da junção da condição momentânea na execução das tarefas determinísticas, pré-definidas e o comportamento reativo em tempo real; sendo o segundo, o de maior complexidade devido à quantidade de diferentes situações que o robô pode se encontrar.

Tarefas determinísticas

Tarefas determinísticas podem ser aperfeiçoadas a partir da melhor utilização dos recursos existentes baseado no conhecimento das funções do robô e das condições do campo. Exemplo de uma tarefa determinística é o seguimento de um plano de rota.

Comportamento reativo em tempo real

Tarefas reativas são as ações desempenhadas quando incertezas são encontradas. Estas tarefas reagem em tempo real à condição atual, a qual era desconhecida antes do início da operação. A escolha da tarefa apropriada a situação é realizada a partir da identificação de um "gatilho" e o contexto da situação. O contexto da situação é divido em duas classes: contexto interno e externo.

Tabela 4 – Exemplos de situações de contexto externo. Fonte: Adaptado de Blackmore, Fountas, et al. (2004b).

Estado	Descrição
Normal estático	Estático em um dos processos/modos pré-definido (planejamento de rota, auto-verificação etc.)
Tarefa normal	Robô e ferramentas efetuando tarefas pré-definidas
Navegação	Robô se movimentando livremente, ferramentas em descanso
Esquivo	Desvio de obstáculos
Ameaça	Desligamento enquanto rastreia a aproximação de objetos
Derrapagem	Robô se movendo mais rápido que as rodas
Escorregamento	Rodas se movendo mais rápido que o robô
Emperramento	Rodas se movendo, robô estático
Atolamento	Área abaixo do trator diminuida
Altitute	Robô acima do limite de altitude
Metereológico	Condições metereológicas acima do limite definido
Roubo	Robô desligado mas em movimento após uma Ameaça

O contexto interno pode ser avaliado a partir da análise do estado interno do robô, incluindo técnicas para encontrar falhas. Contextos internos identificados são: nominal, falha do agente, mensagem desconhecida, mensagem corrompida e parâmetros acima dos limites.

O contexto externo apresenta maior complexidade de definição devido à necessidade da combinação de fatores internos e externos ao robô. Exemplos conhecidos são mostrados na tabela 4.

DESEMPENHAR ELEVADO NÚMERO TAREFAS

O robô além de contemplar as características apresentadas anteriormente, como capacidade de se comportar de maneira segura, capacidade de interagir e se comunicar com outras máquinas, comportamento sensível ao ambiente que se encontra, etc., deve ser capaz também de desempenhar um elevado número de outras tarefas como:

- Explorar e documentar informações referentes a um ambiente desconhecido (a partir do uso de sensores de ambiente);
- Auto-avaliar (a partir do uso de sensores próprios) se os parâmetros normais de funcionamento estão dentro dos limites, como, nível de combustível, temperatura do motor, altitude atual, temperatura externa, entre outros;
- Possibilitar a interação com implementos através de interfaces de comunicação mecânica e elétrica, a fim de possibilitar o trabalho de seus implementos.

Discutidas as características necessárias para um robô agrícola autônomo, os autores relatam que o objetivo principal da definição destas características é o de

garantir que os dois requisitos chaves na criação deste tipo de robô – Tamanho e Confiabilidade – sejam levados em consideração.

6.3. APLICAÇÃO DA FERRAMENTA QFD

Sørensen et al. simulam a aplicação da ferramenta QFD ao projeto de um robô agrícola móvel. Ao longo das publicações dos estudos, novas comparações e conclusões foram apresentadas. Como ponto de partida para as análises sobre os requisitos dos clientes e com o intuito de possibilitar a análise comparativa de mercado, foi utilizado o protótipo do robô Hortibot, o qual já foi nomeado como melhor invenção robótica do ano segundo Summers (2007).

A abordagem padrão do QFD envolve a pontuação das especificações técnicas em função do seu grau de contribuição ao atendimento dos requisitos do cliente. Em outras palavras, os requisitos das diversas partes interessadas são transformados na descrição técnica das especificações (SøRENSEN, JøRGENSEN, *et al.*, 2006).

O modelo de aplicação do QFD para o robô agrícola móvel seguiu o modelo apresentado por Chan e Wu (2004) previamente discutido no capítulo 3.2. Este pode ser descrito de maneira mais compacta em quatro passos: o primeiro passo foi identificar os usuários e clientes; o segundo foi determinar os requisitos destes clientes e suas respectivas importâncias; o terceiro foi determinar as relações entre os requisitos dos clientes e as características técnicas do produto; e o quarto passo foi realizar um benchmarking nos produtos dos concorrentes.

No primeiro passo foram identificados e consultados trinta e cinco clientes, além de literatura relacionada ao assunto, produtos existentes no mercado, entre outros. No segundo passo, trinta e cinco requisitos foram identificados pelos clientes.

Já na execução do terceiro passo, foi realizado um workshop com diversos participantes representando diferentes competências envolvidas no assunto.

REQUISITOS DOS CLIENTES

Com isso, seis categorias de características de projeto foram identificadas, os trinta e cinco requisitos dos clientes foram distribuídos entre elas e cada um teve sua importância pontuada. As seis categorias foram:

- Capacidade de Trabalho;
- Funcionamento;
- Danos;
- Economia;
- Meio Ambiente;
- Projeto.

Os trinta e cinco requisitos dos clientes e as seis categorias principais estão apresentados na tabela 5.

Tabela 5 – Requisitos do cliente divididos em seis categorias principais. Fonte: Adaptado de Sørensen, Jørgensen, et al., (2009).

Categoria Principal	Requisitos dos clientes
1 Capacidade de Trabalho	1) Eficiente, 2) Trabalhar sem nenhum tipo de supervisão, 3) Reduzir a quantidade de homem por hora, 4) Fácil de montar um implemento, 5) Fácil de transportar, 6) Somente pequenas manutenções, 7) Fácil de iniciar um trabalho, 8) Operar sem curtas paradas, 9) Confiável
2 Funcionamento	10) Fácil de operar, 11) Fácil manutenção, 12) Passível de Upgrades, 13) Flexível, 14) Carregar implemento, 15) Ser operado por pessoas não qualificadas, 16) Operar em solo macio, 17) Aquisição de dados automaticamente, 18) Operações fora de estação, 19) Reduzir a necessidade de área auxiliares.
3 Danos	20) Evitar danos as pessoas, animais, obstáculos e etc., 21) Mínimo estrago ao meio de cultura, 22) Mínimo estrago a plantação
4 Economia	23) Lucrativo, 24) Baixo preço de aquisição, 25) Baixo custo operacional, 26) Rápida depreciação
5 Meio Ambiente	27) Baixo consumo de energia, 28) Baixo ruído, 29) Reduzir trabalho repetitivo, 30) Utilizar energia renovável
6 Projeto.	31) Ajustável ao tamanho da linha, 32) Aparência atrativa, 33) Valor afetivo, 34) Leve, 35) Pequeno

O valor médio de importância de cada requisito foi calculado com base na pontuação dada por cada cliente, e classificados em ordem crescente de 1 a 5

conforme sua respectiva média, sendo 1 baixa importância e 5 alta importância, conforme mostrado na figura 6-2.

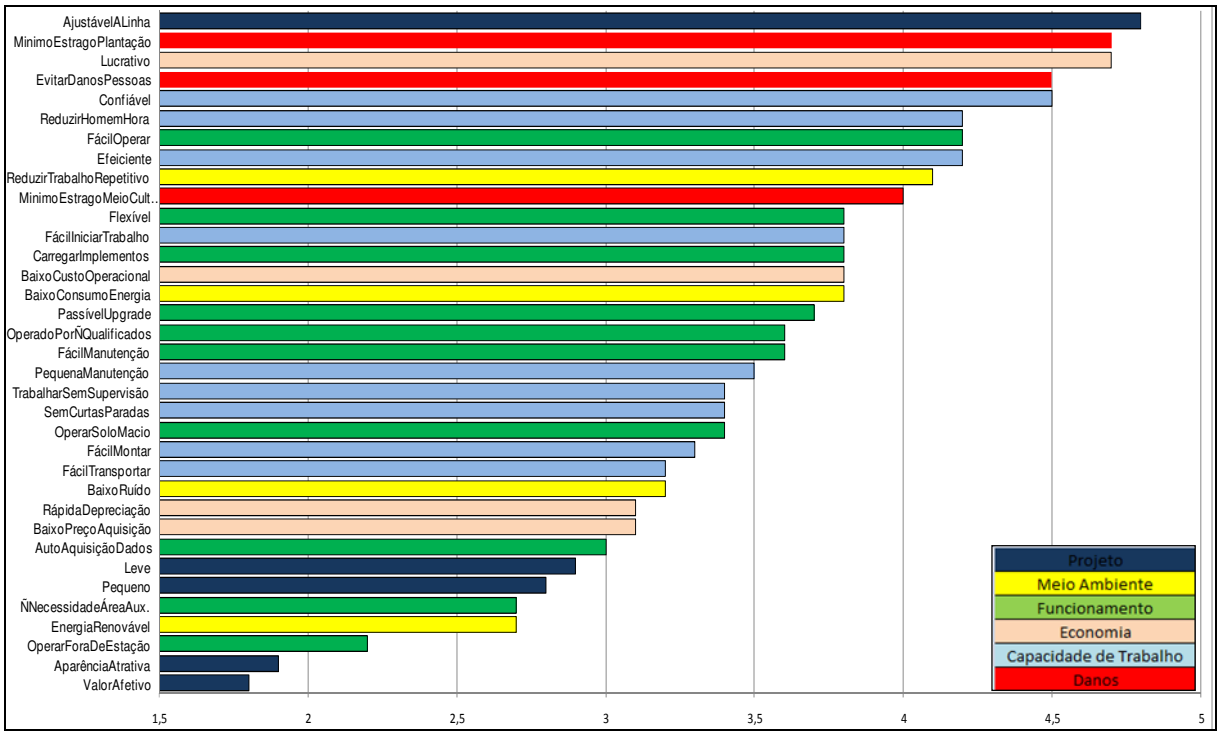


Figura 6-2 – Importância dos requisitos segundo pontuação dos clientes. Fonte: Adaptado de Sørensen, Jørgensen, et al., (2009).

PARÂMETROS TÉCNICOS DO PROJETO

A partir dos trinta e cinco requisitos dos clientes, identificados e distribuídos nas seis categorias de características de projeto, conforme tabela 5, foram identificados trinta e um parâmetros técnicos do projeto, que também foram distribuídos nas seis categorias, conforme tabela 6.

A seguir, os trinta e um parâmetros técnicos são descritos e detalhados, a flecha junto a cada um deles indica se a contribuição deste parâmetro à concepção inicial do projeto do Hortibot é positiva ou negativa. Sendo a flecha ↑ considerada como contribuição positiva e a flecha ↓ como contribuição negativa.

Tabela 6 – Parâmetros técnicos do projeto divididos em seis categorias principais. Fonte: Adaptado de Sørensen, Jørgensen, et al., (2009).

Categoria Principal	Requisitos dos clientes
1 Capacidade de Trabalho	1) Semi autônomo, 2) Controlável por módulos externos, 3) Operar sob ausência de iluminação, 4) Tamanho, 5) Opcional para modo de operação tripulado, 6) Configurável por operador, 7) Marcha para transporte, 8) Configurável pelo usuário, 9) Estabilização automática
2 Funcionamento	10) Suscetível a receber ferramentas modulares, 11) Sistema de posicionamento local, 12) Sistema de navegação por satélite, 13) Largura ajustável, 14) Distância sobre terra, 15) Controle remoto, 16) Comprimento ajustável, 17) Software de padrão aberto, 18) Esterçamento infinito das rodas
3 Danos	19) Área de pressão da roda, 20) Vigilância remota, 21) Necessidade de supervisão, 22) Sistema externo de segurança, 23) Sistema interno de segurança
4 Economia	24) Manutenção diária não necessária, 25) Fácil revisão e paradas periódicas, 26) Utilizar peças produzidas em larga escala, 27) Utilizar implementos produzidos em larga escala
5 Meio Ambiente	28) Eletro-guiado, 29) Eco-eficiente
6 Projeto.	30) Three point hitch, 31) Aparência visual

CATEGORIA A - CAPACIDADE DE TRABALHO

↑**Semi-autônomo:** Quase autônomo, necessitando somente pequenas parametrizações para operar eficientemente. Necessita de supervisão humana quanto à segurança e assistência um número limitado de vezes por missão.

↑**Controlável por módulos externos:** Módulos externos como implementos ou controle adicionais computadorizados podem controlar o robô.

↑**Opcional para modo de operação tripulado**: Possibilidade de montar compartimento ou banco para um operador em casos especiais onde seja necessário constante controle do robô.

↑**Operar sob ausência de iluminação**: Capaz de completar a missão programada mesmo sem a luz do dia.

↑**Configurável pelo usuário**: Um operador não qualificado pode realizar ajustes simples como mudança de bitola da roda e ajuste da velocidade máxima de operação.

↑**Marcha para transporte:** Marcha adicional de alta velocidade para movimentação entre campos

↑ **Estabilização Automática:** Melhora a capacidade de movimentação e estabilidade do robô, facilitando operações em campos de superfície irregular.

↑ **Configurável por mão de obra qualificada:** Operador qualificado pode realizar ajustes como mudança nos parâmetros padrões de trabalho através do computador do robô.

↑ **Tamanho:** Aumento do tamanho do robô gera aumento da capacidade de produção e menor custo dos sensores em geral.

CATEGORIA B - FUNCIONAMENTO

↑ **Controle remoto:** O robô é controlado por meios que não restrinjam sua movimentação por um aparelho de controle remoto externo. Geralmente um aparelho de controle por rádio.

↑ **Suscetível a receber ferramentas modulares:** Sensores e sistemas de controle adicionais podem ser adicionados ao robô, estendendo suas funcionalidades.

↑ **Comprimento ajustável:** O comprimento geral do robô pode ser ajustado, exe.: criar maior espaço entre os pares de rodas para uma ferramenta.

↑ **Largura ajustável:** A bitola da roda por ser alterada, possibilitando as rodas de trilhar entre as linhas de cultivo.

↑ **Distância sobre terra:** Grande distância sobre a terra previne o robô de tocar e danificar o cultivo quando estiver passando sobre ele.

↑ **Sistema de navegação por satélite:** Entidade como um GPS provendo a posição atual do robô em coordenadas mundial com precisão de centímetros.

↑ **Sistema de posicionamento local:** Entidade como um sistema de visão provendo o posicionamento atual do robô em relação à, por exemplo, a linha de cultivo.

↑ **Softwares de padrão aberto:** Software de padrão aberto é mais do que uma simples especificação. Os princípios por trás do padrão e a prática da oferta e funcionamento do padrão também são descritas, possibilitando assim que terceiros desenvolvam soluções adicionais. Válido para os equipamentos opcionais e para o software do próprio robô.

↑ **Esterçamento infinito das rodas:** As rodas podem mudar sua orientação principal sem limitações de, por exemplo, cabos de aço. Isto reduz suas limitações navegacionais.

CATEGORIA C - DANOS

↓ **Área de pressão da roda (dimensional):** Aumentando o raio da roda ou sua largura, a compactação do solo será diminuída.

↑ **Necessidade de supervisão:** Em adição ao operador não qualificado no campo, uma pessoa qualificada deve continuamente e ativamente supervisionar o robô durante suas missões.

↑ **Vigilância remota:** Além do operador não qualificado no campo, um sistema adicional remoto de segurança monitora o comportamento do robô.

↑ **Sistema de segurança interno:** Sistema de segurança previne comportamentos perigosos do robô causados por erros internos.

↑ **Sistema externo de segurança:** Sistema de segurança prevenindo o robô de colisões com pessoas, árvores, valas e etc.

CATEGORIA D - ECONOMIA

↑ **Fácil revisão e paradas periódicas:** A revisão periódica na oficina é rápida e fácil.

↑ **Manutenção diária não necessária:** Manutenção diária não é necessária, como por exemplo, engraxamento e aperto de parafusos.

↑ **Utilizar implementos produzidos em larga escala:** Implementos tradicionais “de prateleira” podem ser montados e utilizados no robô.

↑ **Utilizar peças produzidas em larga escala:** Robô é composto principalmente por peças “de prateleira”.

CATEGORIA E – MEIO AMBIENTE

↑ **Eco-eficiente:** Impacto ecológico e necessidade de recursos progressivamente reduzida durante sua vida útil.

↑ **Eletro-guiado:** Todas as entidades que realizam ações físicas são guiada por eletricidade.

↓ **Tamanho:** Aumento do tamanho do robô aumenta a compactação do solo.

CATEGORIA F - PROJETO

↑ **Aparência visual:** A impressão visual identificada quando olhando para o robô é de robustez, bom aproveitamento e bem proporcionado.

↑ **Three point hitch:** O “three point hitch” pode operar com um equipamento em contato com o solo se movendo para frente e para trás em relação ao elo. O elo prove uma funcionalidade interna com a plataforma do robô.

Os trinta e um parâmetros técnicos do projeto foram colocados na matriz do QFD, confrontados com os trinta e cinco requisitos dos clientes (com base nas

regras do QFD) e em seguida cada um teve sua respectiva importância relativa no projeto calculada. Como pode ser visto na figura 6-3.

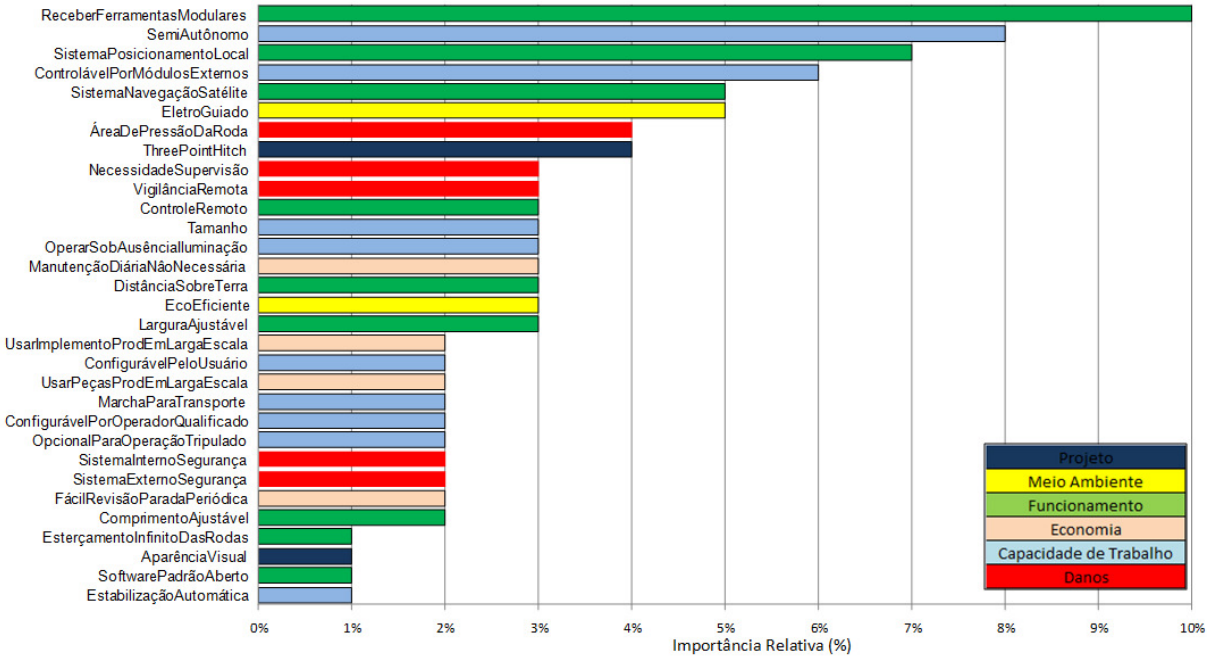


Figura 6-3 – Importância relativa (%) dos parâmetros técnicos do projeto. Fonte: Adaptado de Sørensen, Jørgensen, et al., (2009).

6.4. ANÁLISE DE MÉRITO DAS FERRAMENTAS

Cada ferramenta discutida neste capítulo apresenta características, vantagens e particularidades quanto a sua aplicação. Com o intuito de realizar uma análise de mérito destas ferramentas, foi realizada uma busca sobre a existência de um método para tal, porém, nenhum foi encontrado.

Após o estudo da aplicação destas ferramentas, foi possível chegar à conclusão de que a escolha da ferramenta correta a ser aplicada durante o desenvolvimento do produto deve ser realizada com base no escopo do projeto.

Contudo, a ferramenta que apresenta maior condição de transmitir as necessidades dos clientes para o projeto do produto é o QFD. Uma vez que, seus

resultados são uma conclusão das necessidades do cliente conforme seu grau de importância, o peso das características de acordo com seu relacionamento com outras características, e sua comparação com os produtos dos concorrentes.

Por esse motivo, na avaliação de um robô agrícola existente realizada no próximo capítulo, a ferramenta QFD é a qual será utilizada como base.

7. AVALIAÇÃO DE UM ROBÔ AGRÍCOLA EXISTENTE

Neste capítulo serão avaliados os parâmetros técnicos de um robô agrícola existente, comparando-se as suas características aos requisitos definidos como importantes por pessoas relacionadas à robótica agrícola.

7.1. INTRODUÇÃO AO ROBÔ AGRÍCOLA SOB AVALIAÇÃO

Segundo Inamasu (2010), um Robô Agrícola Móvel para ser utilizado como uma plataforma experimental para o desenvolvimento de controle, navegação e tecnologias de aquisição de dados para a área agrícola, foi concebido na parceria entre a Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Carlos (EESC-USP) e a Empresa Brasileira de Pesquisa de Instrumentação Agropecuária (Embrapa). A vista isométrica do robô é apresentada na figura 7-1.

Figura 7-1 – Vista isométrica do robô. Fonte: Adaptado de Inamasu (2010).

A seguir são apresentados detalhes do robô agrícola móvel de acordo com Inamasu (2010).

Dimensões e estrutura: Estrutura de formato pórtico retangular com 2 metros de altura, onde seu lado de maior comprimento é paralelo a linha de cultivo.

Tração: Sistema de quatro rodas com tração independente em cada uma.

Sistema de direção: Sistema Ackerman nas rodas dianteiras, rodas traseiras imóveis.

Motor: Motores elétricos para os sistemas de esterçamento e propulsão.

Fonte de alimentação: Baterias de chumbo.

7.2. AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS TÉCNICOS DE PROJETO

MÉTODO DE AVALIAÇÃO

Foi realizada uma entrevista com o doutorando Rubens Tabile da EESC-USP, responsável pela pesquisa do robô agrícola móvel, com o objetivo de avaliar a qualificação do robô em relação aos parâmetros técnicos de projeto apresentados no capítulo 6.3. Na entrevista foi registrada a nota de um a cinco para cada parâmetro e o seu motivo, segundo a visão do entrevistado, a nota sendo “um” = parâmetro inexistente ou de funcionamento não confiável, “três” = atende necessidades mínimas e “cinco” sendo pleno atendimento do parâmetro.

RESULTADOS DA AVALIAÇÃO

A seguir, será apresentado cada parâmetro de projeto junto a suas respectivas notas e o motivo de cada uma.

CATEGORIA A - CAPACIDADE DE TRABALHO

Configurável por mão de obra qualificada – Nota 5 – Motivo: Qualquer tipo de ajuste em parâmetros operacionais pode ser realizado por operador qualificado.

Tamanho – Nota 4 – Motivo: Tamanho é proporcional a necessidade de trabalho, seu aumento não categoriza aumento da capacidade de trabalho e sua redução não possibilita manter a mesma capacidade de trabalho.

Marcha para transporte – Nota 4 – Motivo: Velocidade máxima do robô é suficiente para atender a necessidade de movimentação entre campos de maneira satisfatória, porém não possui diferentes marchas.

Opcional para modo de operação tripulado – Nota 3 – Motivo: Robô é passível de operação por operador no local, porém não sobre ou dentro do robô.

Semi-autônomo – Nota 2 – Motivo: Sistema de controle não possui capacidade suficiente para tomar decisões necessárias para ser considerado autônomo.

Configurável pelo usuário – Nota 2 – Motivo: Ajuste de bitola é possível, porém o sucesso na realização não é garantido. Configurações e ajustes não são operações triviais e demandam entendimento e treinamento.

Controlável por módulos externos Automática – Nota 1 – Motivo: Característica inexistente no robô.

Operar sob ausência de iluminação – Nota 1 – Motivo: Característica inexistente no robô.

Estabilização Automática – Nota 1 – Motivo: Característica inexistente no robô.

CATEGORIA B – FUNCIONAMENTO

Controle remoto – Nota 5 – Motivo: Controle através de rede ethernet sem fio com alcance de até 20 km em campo aberto e passível de operação via “joy stick”.

Softwares de padrão aberto – Nota 5 – Software padrão totalmente aberto, passível a mudanças conforme necessidade do usuário.

Distância sobre terra – Nota 4 – Motivo: Atende a altura máxima para sua necessidade de aplicação, porém gabinete central para componentes eletrônicos se encontram em um nível abaixo do resto do robô.

Sistema de navegação por satélite – Nota 4 – Motivo: Contém GPS RTK.

Suscetível a receber ferramentas modulares – Nota 3 – Motivo: É possível o recebimento de ferramentas modulares porém a quantidade é limitada.

Largura ajustável – Nota 3 – Motivo: Ajuste é possível, porém necessita de trabalho manual para realização - bitolas dianteira e traseira necessitam ser do mesmo tipo.

Sistema de posicionamento local – Nota 2 – Motivo: Contém sistema para posicionamento local por ultra-som e por imagem, porém não apresenta funcionamento adequado.

Comprimento ajustável – Nota 1 – Motivo: Característica inexistente no robô.

Esterçamento infinito das rodas – Nota 1 – Motivo: Característica inexistente no robô, esterçamento de geometria Ackerman.

CATEGORIA C - DANOS

Área de pressão da roda (dimensional) – Nota 5 – Motivo: Ótima distribuição e peso por área, sua estrutura é tubular, e por isso leve, além de apresentar grande área de contato da roda com o solo.

Vigilância remota – Nota 3 – Motivo: Informações básicas de funcionamento são transmitidas ao usuário.

Necessidade de supervisão – Nota 2 – Motivo: É necessária a supervisão por não apresentar sistemas de segurança eficientes e autonomia necessária.

Sistema de segurança interno – Nota 1 – Motivo: Característica inexistente no robô.

Sistema externo de segurança – Nota 1 – Motivo: Sistema para avaliação do ambiente externo não apresenta funcionamento adequado e quantidade de funções suficiente.

CATEGORIA D - ECONOMIA

Fácil revisão e paradas periódicas – Nota 5 – Motivo: Revisão necessária é simples e parada é periódica, acesso aos componentes de revisão é fácil. Itens de revisão: óleo da corrente, fluído da bateria e filtro sistema de ventilação forçado.

Manutenção diária não necessária – Nota 5 – Motivo: Nenhuma manutenção diária é necessária além da revisão periódica.

Utilizar implementos produzidos em larga escala – Nota 4 – Motivo: Todos implementos são de produção em larga escala, porém requerem adaptações para funcionamento.

Utilizar peças produzidas em larga – Nota 4 – Motivo: Parte mecânica e elétrica de todos componentes são de produção em larga escala, parte eletrônica com alguns itens de fabricação específica e alguns importados.

CATEGORIA E – MEIO AMBIENTE

Eletro-guiado – Nota 5 – Motivo: Movido somente por energia elétrica.

Eco-eficiente – Nota 4 – Motivo: Maioria dos componentes são recicláveis sem demanda de manutenção periódica para troca, com exceção da bateria elétrica com troca a partir de 1000 ciclos.

CATEGORIA F – PROJETO

Aparência visual – Nota 2 – Motivo: Componentes a mostra e ausência de carenagem possibilitando acumulo de materiais estranhos.

Three point hitch – Nota 1 – Motivo: Característica inexistente no robô.

ANÁLISE DA AVALIAÇÃO DO ROBÔ

Dos trinta e um parâmetros avaliados, sete obtiveram a pontuação máxima, ou seja 23% dos parâmetros, são eles: eletro-guiado, software de padrão aberto, controle remoto, fácil revisão e paradas periódicas, manutenção diária não necessária, configurável por mão de obra qualificada e área de pressão da roda.

Oito parâmetros de projeto obtiveram a pontuação mínima, ou seja 26% dos parâmetros, a maioria deles por ser inexistente no robô, são eles: three point hitch, esterçamento infinito das rodas, comprimento ajustável, estabilização automática, operar sob ausência de iluminação, controlável por módulos externos, sistema externo de segurança e sistema interno de segurança.

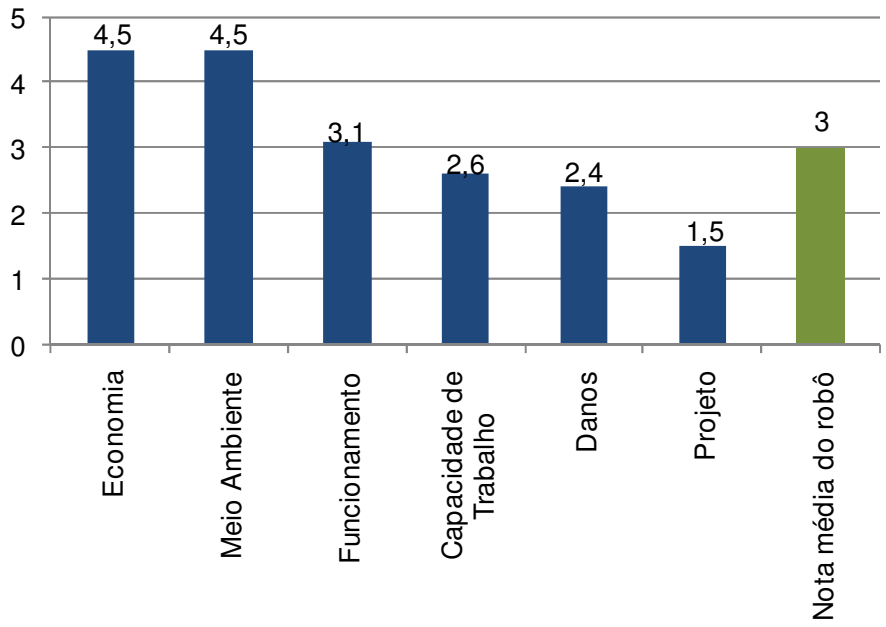


Figura 7-2 – Nota média do robô e das categorias de parâmetros de projeto.

Entre as seis categorias de parâmetros de projeto definidas, a nota média de cada uma delas e a nota média do robô estão apresentadas na figura 7-2.

Com o objetivo de calcular o *gap* (diferença entre o máximo resultado possível e o alcançado) quanto ao atendimento da importância relativa (%) dos parâmetros técnicos do projeto, foram utilizados os dados apresentados na figura 6.3 e no capítulo 7.2. O calculo do *gap* é representado pela equação 1:

$$gap = \left(1 - {}^{a}/_{5}\right) * b \qquad (1)$$

Sendo:

a: nota do parâmetro técnico do projeto, conforme capítulo 7.2;

b: importância relativa (%) dos parâmetros técnicos, conforme figura 6.3;

5: nota máxima que o parâmetro pode receber.

Os resultados dos cálculos dos *gaps* podem ser vistos na figura 7.3.

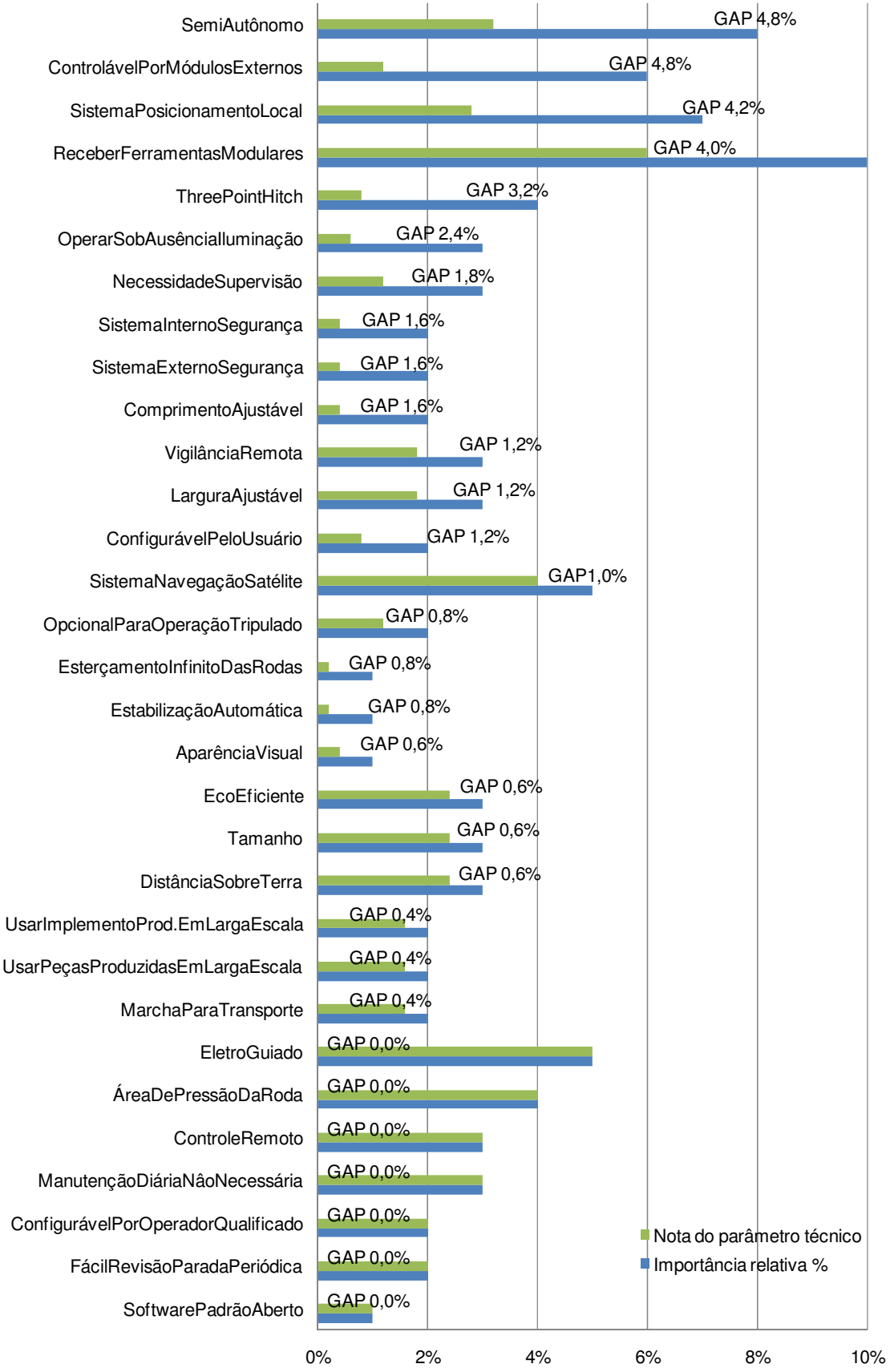


Figura 7-3 – *Gap* quanto ao atendimento da importância relativa (%) dos parâmetros técnicos do projeto.

Somando as notas destes parâmetros, em % de atendimento conforme sua importância relativa, o resultado obtido é 59,4%. Com base nesta análise é possível afirmar que, provendo melhorias em cinco itens, existe a possibilidade de se obter uma melhora de até 21% neste resultado, conforme mostrado na tabela 7.

Tabela 7 – Parâmetros técnicos do projeto a serem melhorados.

Parâmetro técnico do projeto	Importância relativa	Nota	GAP
ThreePointHitch	4%	1	3,2%
ReceberFerramentasModulares	10%	3	4,0%
SistemaPosicionamentoLocal	7%	2	4,2%
ControlávelPorMódulosExternos	6%	1	4,8%
SemiAutônomo	8%	2	4,8%
Total	35%		21%

7.3. CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE O ROBÔ

Por se tratar de um robô que foi desenvolvido com finalidade experimental para execução de pequenas atividades e com recursos financeiros limitados, sua nota média obtida pode ser considerada ótima. Cinqüenta e oito por cento dos parâmetros apresentaram nota superior ou igual a três, vinte e três por cento dos parâmetros atingiram a nota máxima e entre os treze parâmetros que não atenderam a necessidade mínima (quarenta e dois por cento do total) nove não fazem parte do escopo do projeto do robô ou necessitam de maior quantidade de investimento financeiro para serem obtidos.

Portanto, pode-se considerar que somente quatro parâmetros (treze por cento do total) não atendem a necessidade mínima, devido às escolhas feitas durante o projeto do robô, quais sejam: sistema de posicionamento local, configurável pelo usuário, sistema externo de segurança e sistema interno de segurança.

8. CONCLUSÕES

Os objetivos do presente trabalho, conforme previamente descritos no capítulo 1 foram, pesquisar, discutir e relatar os seguintes termos:

- Requisitos da qualidade de um robô utilizado na agricultura, horticultura, entre outros;
- Ferramentas da qualidade a serem utilizadas no desenvolvimento destes produtos;
- Apresentação dos mercados potenciais para estes robôs;
- Avaliação de um robô agrícola existente quanto ao atendimento dos parâmetros técnicos do projeto definidos por clientes e especialistas no assunto.

Os requisitos da qualidade de um robô foram apresentados nos capítulos 5 e 6, as ferramentas da qualidade foram abordadas no capítulo 3, ...

Portanto, conforme exposto, todos os objetivos deste trabalho foram atendidos.

Pode-se concluir neste trabalho que, entre os diversos métodos e ferramentas possíveis de serem utilizadas para garantir a satisfação dos usuários de robôs agrícolas, a ferramenta QFD é a qual apresenta melhor estrutura para tal propósito. Visto que, seus resultados são uma conclusão das necessidades do cliente conforme seu grau de importância, o peso das características de acordo com seu relacionamento com outras características, e sua comparação com os produtos dos concorrentes.

9. TRABALHOS FUTUROS

Tem-se, como sugestão para trabalho futuro, a aplicação de todos os requisitos e ferramentas da qualidade, que foram abordadas no presente trabalho, no desenvolvimento do projeto de um robô agrícola, e o desenvolvimento de um método comparativo para análise de mérito de ferramentas da qualidade.

BIBLIOGRAFIA

ABRAS, C.; MALONEY-KRICHMAR, D.; PREECE, J. User-Centered Design. In: BAINBRIDGE, W. S. **Encyclopedia of Human-Computer Interaction**. [S.l.]: Great Barrington: Berkshire Publishing Group, 2004.

ABREU, F. D. S. QFD - Desdobramento da função qualidade - Estruturando a satisfação do cliente. **RAE - Revista de administração de empresas**, São Paulo, v. 37, n. 2, p. 47-55, Abr/Jun 1997.

AKAO, Y. **Quality function deployment - integrating customer requirements into product design**. New York: Productivy Press , 1990.

ALMEIDA, J. A. R. **Elaboração de um método para melhoria de fluxos de informação usando princípios de mentalidade enxuta e reengenharia de processos**. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. Sã Carlos, p. 175. 2009.

ASIMOV, I. **Eu, Robô**. [S.l.]: [s.n.], 1939.

ASIMOV, I. **Visões de Robô**. [S.l.]: [s.n.], 1990.

ASQ. Glossário. **American Society of Quality**, c2010. Disponivel em: <http://www.asq.org/glossary/q.html>. Acesso em: 17 Maio 2010.

ÅSTRAND, B.; BAERVELDT, A.-J. An Agricultural Mobile Robot with Vision-Based Perception for Mechanical Weed Control. **Autonomous Robots**, Netherlands, 13, July 2002. 21-35.

BADE, R. D.; REINEMANN, D. J.; THOMPSON, P. D. **Method for Assessing Teat and Udder Hygiene**. ASABE Annual international meeting. Número Artigo: 083796. Providence, Rhode Island: ASABE. 2008. p. 8. Paper Number: 083796.

BAKKER, T. **An autonomous robot for weed control - design, navigation and control**. Tese de Doutorado - Wageningen University. Wageningen, Holanda, p. 149. 2009. (ISBN: 978-90-8585-326-8).

BAKKER, T. et al. An Autonomous Weeding Robot for Organic Farming. In: CORKE, P.; SUKKARIEH, S. **Field and Service Robotics**. [S.l.]: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, v. 25, 2006. p. 579-590.

BANAS QUALIDADE, P. O que é qualidade: Definição de qualidade. **Portal Banas Qualidade**, 2010. Disponivel em: <http://www.banasqualidade.com.br/qualidade.asp>. Acesso em: 01 Agosto 2010.

BEKEY, G. A. **Autonomou robots - from biological inspiration to implementation and control**. Arroyo Grande, California: The MIT Press, 2005.

BELFORTE, G. et al. Robot Design and Testing for Greenhouse Applications. **Biosystems Engineering**, 95, 2006. 309-321.

BERNS, T. Usability and user-centred design, a necessity for efficient e-learning! **International Journal of The Computer, the Internet and Management**, 12, May-August 2004. 20 -25.

BITNER, M. J. Evaluating service encounters: the effects of physical surroundings and employee responses. **The Journal of Marketing**, 54, Abril 1990. 69-82.

BLACKMORE, B. S. **Developing the principles of precision farming**. Proceedings of Agrotech 99. Barretos, Brasil: Instituto de Tecnologia de Barretos. 1999.

BLACKMORE, B. S. **From precision farming to phytotechnology**. Automation technology for off-road equipment. Kyoto, Japão: ASAE. 2004. p. 162-165.

BLACKMORE, B. S. A systems view of agricultural robots. In: STAFFORD, J. **Precision Agriculture**. [S.l.]: Wageningen Academic Publishers, 2007. p. 23-31. ISBN ISBN: 978-90-8686-024-1.

BLACKMORE, B. S. **Developing the principles of precision farming**. The Royal Veterinary and Agricultural University. Dinamarca, p. PREECNHER.

BLACKMORE, B. S. et al. Systems requirements for a small autonomous tractor. **Agricultural engineering internation: the CIGR journal of scientific research and development.**, July 2004.

BLACKMORE, B. S. et al. **A method to define agricultural robot behaviours**. Automation Technology for Off-Road Equipment. Kyoto, Japão: ASAE. 2004a. p. 155-161.

BLACKMORE, B. S. et al. Systems requirements for a small autonomous tractor. **Agricultural engineering internation: the CIGR journal of scientific research and development.**, July 2004b.

BLACKMORE, B. S. et al. **Robotic agriculture – the future of agricultural mechanisation?** 5th European Conference on Precision Agriculture. Uppsala, Sweden: Wageningen Academic Publishers. 2005a. p. 621-628.

BLACKMORE, B. S. et al. A specification for an autonomous crop production mechanization systems. **Agricultural engineering internation: the CIGR Ejournal.**, Setembro 2007a.

BLACKMORE, B. S. et al. Decomposition of agricultural tasks into robotic behaviours. **Agricultural engineering internation: the CIGR ejournal**, Outubro 2007b.

BLACKMORE, B. S.; GRIEPENTROG, H. W. Autonomous vehicles and robotics. In: MUNACK, A. **CIGR Handbook of agricultural engineering**. St. Joseph, Michigan: ASABE, v. VI Information technoogy, 2006. Cap. 4, p. 204-215.

BLACKMORE, S. B.; HAVE, H.; FOUNTAS, S. **Specification of behavioural requirements for an autonomous tractor**. Automation technology for off-road equipment. Chicago, Illinois: ASAE. 2002.

BLACKMORE, S. et al. **Mobile robots for tree care**. Frutic 05 - Information and technology for sustainable fruit and vegetable production. Montpellier, França: [s.n.]. 2005b. p. 737-744.

BLACKMORE, S.; SPYROS, F.; HAVE, H. **Proposed system architecture to enable behavioral control of an autonomous tractor**. Automation Technology for Off-Road Equipment. Chicago, Illionis, USA: ASAE. 2002. p. 13-23.

BOND, W.; TURNER, R. J.; GRUNDY, A. C. **A review of non-chemical weed management**. FALYA PREENHCER. [S.l.], p. 81. 2003.

CATERPILLAR. **Treinamento Faixa Preta 6 Sigma - DMEDI**. Peoria, Illinois. 2004.

CHAN, L.-K.; WU, M.-L. A systematic approach to quality function deployment with a full illustrative example. **The international journal of management science**, 33, Março 2004. 119-139.

CHAOUI, H. I.; SøRENSEN, C. G. **Review of Technological Advances and Technological Needs in**. ASABE Annual International Meeting. Número Artigo: 080006. Providence, Rhode Island: ASABE. 2008. p. 17.

CROW, K. Voice of the customer. **New product development solutions**, 2002. Disponivel em: <http://www.npd-solutions.com/voc.html>. Acesso em: 17 Maio 2010.

CROW, K. Quality function deployment: what, why & how. **New product development solutions**, 2004. Disponivel em: <http://www.npd-solutions.com/whyqfd.html>. Acesso em: 17 Maio 2010.

DANG, K. S. **Design and control of autonomous crop tracking robotic weeder : GreenWeeder**. [S.l.], p. 165. 2009. (Tese Mestrado em Engenharia Mecânica - School of Mechanical and Manufacturing Engineering - The University of New South Wales, Sidney, Austrália. 2009).

DRUCKER, P. F. **Inovação e espírito empreendedor**. 6ª Edição. ed. São Paulo: Guazzelli Ltda, 1985.

EHRL, M. et al. **Autotrac - Accuracy of a RTK DGPS base autonomous vehicle guidance system under field conditions**. Automation technology for off-road equipment. Kyoto, Japão: ASAE. 2004. p. 9.

FOUNTAS, S. et al. Decomposition of agricultural tasks into robotic behaviours. **Agricultural engineering internation: the CIGR ejournal** , Outubro 2007.

GARVIN, D. A. **Gerenciando a qualidade:** a visao estrategica e competitiva. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1992. 357 p.

GLASMACHER, H. **Agro nav plan – the software for planning and evaluation of path and work**. Automation Technology for Off-road Equipment. Chicago, Illinois: ASAE. 2002. p. 9.

GODWIN, R. J. et al. **Management guidelines for precision farming:** nitrogen. ASAE annual international meeting / CIGR XVth world congress. Número Artgigo: 021018. Chicago, Illinois: ASAE. 2002.

GOENSE, D. **The economics of autonomous vehicles**. Agricultural Engineering. [S.l.]: [s.n.]. 2003. p. 8.

GOMES, P. J. P. A evolução do conceito de qualidade: dos bens manufacturados aos serviçoes de informação. **Cadernos de Biblioteconomia Arquivística e Documentação**, Lisboa, Portugal, v. 2, p. 7-18, 2004.

GRIEPENTROG, H. W. et al. Autonomous inter-row hoeing using GPS-based side-shift control. **Agricultural engineering international: the CIGR ejournal.**, IX, n. 07 005, Julho 2007. 9.

GRIEPENTROG, H. W.; BLACKMORE, B. S. **Engineering solutions for energy and food production**. Land-Technik AgEng 2007. Hanover, Germany: VDI-Verlag. 2007. p. 175-181.

GRIEPENTROG, H. W.; BLACKMORE, B. S.; VOUGIOUKAS, S. G. Positioning and navigation. In: MUNACK, A. **CIGR Handbook of agricultural engineering**. St. Joseph, Michigan: ASABE, v. VI Information technology , 2006. Cap. 4, p. 195-204.

GRIEPENTROG, H. W.; NøRREMARK, M.; NIELSEN, J. **Autonomous intra-row rotor weeding based on GPS**. CIGR world congress - Agricultural Engineering for a Better World. Bonn, Alemanha: [s.n.]. 2006. p. 7.

HAGUE, T.; MARCHANT, J. A.; TILLETT, N. D. **Autonomous Robot Navigation for Precision Horticulture**. International Conference on Robotics and Automation. Albuquerque, New Mexico: IEEE. 1997. p. 1880-1885.

HALL, S. G. et al. **Use of autonomous vehicles for improving sustainability via water quality and biological pest management**. ASAE Annual International Meeting. Número Artigo 054147. Tampa, Florida: ASAE. 2005.

HALL, S. G.; PRICE, R. R.; WEI, L. **Design of an autonomous bird predation reduction device**. ASAE International Meeting. Número Artigo: 01-3131. St. Joseph, MI: ASAE. 2001.

HALL, S. G.; SMITH, D. D.; DAVIS, T. **Design of a communications system between multiple autonomous vehicles**. ASABE Annual International Meeting. Número Artigo: 097063. Reno, Nevada: ASABE. 2009.

HALL, S.; PRICE, R. R.; MANDHANI, N. **Use of autonomous vehicles for drinking water monitoring and management in an urban environment**. ASABE Annual International Meeting. Número Artigo 047053. Ottawa, Ontario: ASABE. 2004.

HAVE, H. Autonomous weeders for christmas tree plantations - a feasibility study. **Pesticides Research**, v. 59, p. 86, 2002.

HAVE, H. **Effects of automation on sizes and costs of tractor and machinery**. [S.l.]. FALTA PREENCHER.

HELFERICH, A.; HERZWURM, G.; SCHO, S. QFD-PPP: Product Line Portfolio Planning Using. In: OBBINK, H.; POHL, K. **Software Product Lines**. [S.l.]: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, v. 3714/2005, 2005. p. 162-173. ISBN ISBN 978-3-540-28936-4.

HELLSTRÖM, T.; LÄRKERYD, P.; NORDFJELL, T. **Autonomous forest machines - past, presente and future**. Universidade de Umeå. Umeå, Suécia. 2008. (ISSN-0349-0542).

HELLSTRÖM, T.; LÄRKERYD, P.; NORDFJELL, T. Autonomous Forest Vehicles: Historic, envisioned, and state-of-the-art. **International Journal of Forest Engineering**, Umeå, Suécia, 20, Abril 2008. 31-38.

INAMASU, R. Y. **Desenvolvimento de melhorias para a estrutura mecânica e para sistema de navegação de um robô agrícola móvel (RAM) para a aquisição de dados em Agricultura de Precisão**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Embrapa Cnpdia - Instrumentação Agrícola. São Carlos, p. 42. 2010.

ISHII, K.; NOGUCHI, N. **A task management and control system for multi-robot using wireless lan**. Automation technology for off-road equipment. Kyoto, Japão: ASAE. 2004. p. 8.

JøRGENSEN, R. N. et al. **Hortibot - an accessory kit transforming a slope mower into a robotic tool carrier for high-tech plant nursing - part I**. ASABE Annual International Meeting. Número Artigo: 063082. Portland, Oregon: ASABE. 2006.

JøRGENSEN, R. N. et al. **FeederAnt - An autonomous mobile unit feeding outdoor pigs**. ASABE Annual international meeting. Número Artigo: 077022. Minneapolis, Minnesota: ASABE. 2007.

JøRGENSEN, R. N. et al. **FeederAnt - An autonomous mobile unit feeding outdoor pigs**. ASABE Annual international meeting. Número Artigo: 077022. Minneapolis, Minnesota: ASABE. 2007. p. 11.

JøRGENSEN, R. N. et al. **FeederAnt - An autonomous mobile unit feeding outdoor pigs**. ASABE Annual international meeting. Número Artigo: 077022. Minneapolis, Minnesota: ASABE. 2007. p. 11.

JURAN, J. M.; GODFREY, A. B. **Juran's quality handbook**. 5ª Edição. ed. USA: McGraw-Hil, 1979.

KANO, N. et al. Attractive quality and must-be quality. **Journal of the Japanese Society for Quality Control**, 1984. 39-48.

KANOMODEL. Discovering the Kano model. **Kano Model**, 2010. Disponivel em: <http://www.kanomodel.com/>. Acesso em: 18 Maio 2010.

KHOT, L. R. et al. **Posture estimation for autonomous weeding robots navigation in nursery tree plantations**. ASAE Annual International Meeting. Tampa, Florida: ASAE. 2005.

KHOT, L. R. et al. Navigational context recognition for an autonomous robot in a simulated tree plantation. **Transactions of the ASABE. Número Artigo: 053092**, 49(5), 2006. 1579-1588.

KONDO, N. et al. **A new challenge of robot for harvesting strawberry grown on table top culture**. ASAE Annual International Meeting. Número Artigo: 053138. Tampa, Florida: ASABE. 2005. p. 10.

KYRIAKIPOULOS, K. J.; LOIZOU, S. G. Robotics: fundamental and prospects. In: MUNACK, A. **CIGR Handbook of agricultural engineering**. St. Joseph, Michigan: ASABE, v. VI Information tecnology, 2006. Cap. 2, p. 93-107.

LACEY, R. E.; PRICE, J. E.; PESCHEL, J. M. **A mini-robot sumo competition to teach mechatronics to engineering undergraduates**. ASAE Annual International Meeting. Número Artigo: 033131. Las Vegas, Nevada: ASAE. 2003. p. 11.

LEWIS, C.; RIEMAN, J. **Task-centered user interface design - A practical introduction**. [S.l.]: Disponível em: http://www.hcibib.org/tcuid/, 1993.

LILJEDAHL ET AL. Automatic tractor steering. **Agricultural Engineering**, Junho 1962. 322-335.

MADSEN, T. E.; JAKOBSEN, H. L. **Mobile robot for weeding**. Tese de mestrado - Department of control and engineering design technical university of Denmark. Dinamarca, p. 159. 2001.

MAZUR, G. What is QFD? **QFD Institute - The offiicial source of QFD**, 2010. Disponivel em: <http://www.qfdi.org/what_is_qfd/what_is_qfd.html>. Acesso em: 18 Maio 2010.

MCQUARRIE, E. F. **The market research toolbox - a concise guide for beguinners**. 2ª Edição. ed. Thousand Oaks, California: Sage Publications Inc, 2006.

MEJNERTSEN, A.; RESKE-NIELSEN, A. **Control of Autonomous Tractor**. Ørsted DTU, Automation. Dinamarca, p. 117. 2006. (Tese de mestrado).

MOGENSEN, L. V. et al. **Using kalmtool in navigation of mobile robots**. Proceedings European Control Conference. Kos, Greece: [s.n.]. 2007. p. 9.

MUNACK, A. (Ed.). **CIGR Handbook of agricultural engineering**. St. Joseph, Michigan: ASABE, 2006.

NAGASAKA, Y. et al. **An autonomous field watching-dog robot for information collection in agricultural fields**. ASAE/CSAE Annual International Meeting. Número Artigo: 043092. Ontario, Canada: ASAE/CSAE. 2004a. p. 8.

NAGASAKA, Y. et al. **Control system design for an autonomous field watchung-dog robot**. Automation technology for off-road equipment. Kyoto, Japão: ASAE. 2004b. p. 7.

NOGUCHI, N. et al. **Development of robot tractor based on RTK-GPS and gyroscope.** ASAE Annual International Meeting. Número do Artigo: 01-1195. Sacramento, California: ASAE. 2001.

NORONHA, D. P.; FERREIIRA, S. M. S. P. Revisões da literatura. In: CAMPELLO, B. S.; CENDÓN, B. V.; KREMER, J. M. **Fontes de informação para pesquisadores e profissionais**. Belo Horizonte: UFMG, 2000. p. 191-198.

PEDERSEN, S. M. et al. **Agricultural robots—system analysis and economic feasibility**. 5th European conference on precision agriculture. Uppsala, Sweden: SpringerLink. 2006. p. 295-308.

PETERSON, . D. L. et al. **A systems approach to robotic bulk harvesting of apples**. Transactions of the ASAE. [S.l.]: [s.n.]. 1999. p. 871-876.

PRIBERAM. Dicionário Priberam da Língua Portuguesa. **Agricultura**, 2009. Disponivel em: <http://www.priberam.pt/dlpo/dlpo.aspx?pal=horticultura>. Acesso em: 11 Maio 2010.

PRIBERAM. Dicionário Priberam da Língua Portugues. **Horticultura**, 2009a. Disponivel em: <http://www.priberam.pt/dlpo/dlpo.aspx?pal=horticultura>. Acesso em: 11 Maio 2010.

PRIBERAM. Dicionário Priberam da Língua Portuguesa. **Zootecnia**, 2009b. Disponivel em: <http://www.priberam.pt/dlpo/dlpo.aspx?pal=zootecnia>. Acesso em: 11 Maio 2010.

PRIBERAM. Dicionário Priberam da Língua Portuguesa. **Agricultura**, 2009c. Disponivel em: <http://www.priberam.pt/dlpo/dlpo.aspx?pal=Agricultura>. Acesso em: 11 Maio 2010.

PRIBERAM. Dicionário Priberam da Língua Portuguesa. **Silvicultura**, 2009d. Disponivel em: <http://www.priberam.pt/dlpo/dlpo.aspx?pal=silvicultura>. Acesso em: 11 Maio 2010.

QFD, I. Who is Dr. Akao? **QFD Institute - The official site fo QFD**, 2010. Disponivel em: <http://www.qfdi.org/what_is_qfd/who_is_dr_akao.htm>. Acesso em: 18 Maio 2010.

QUÉBEC, R. N. E. F. Highlights on forests. **Ressources naturelles et faune - Québec**, c2010. Disponivel em: <http://www.mrn.gouv.qc.ca/english/forest/understanding/understanding-thinning.jsp>. Acesso em: 14 Maio 2010.

SCATENA, J. M. **Ambiente de desenvolvimento de aplicações para robôs móveis**. Tese de Doutorado em Engenharia Elétrica - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, p. 145. 2009.

SøRENSEN, C. G. A model of field fachinery capability and logistics: the case of manure application. **Agricultural engineering internation: the CIGR journal of scientific research and development.**, Outubro 2003.

SøRENSEN, C. G. et al. **HortiBot:** Application of quality function deployment (QFD) method for horticultural robotic tool carrier design planning - part II. ASABE Annual international meeting. Número Artigo: 067021. Portland, Oregon: ASABE. 2006.

SøRENSEN, C. G. et al. **Hortibot:** feasibility study of a plant nursing robot performing weeding operations - part IV. ASABE Annual International Meeting. Número Artigo: 077019. Minneapolis, Minnesota: ASABE. 2007.

SøRENSEN, C. G. et al. User-centered and conceptual technical guidelines of a plant nursing robot. **ASABE - American society of agricultural and biological engineers**, 2008.

SøRENSEN, C. G. et al. Conceptual and user-centric design guidelines fora plant nursing robot. **Biosystems Engineering**, 12 Novembro 2009. 119-129.

SOUSA, R. V. **Robô Agrícola Móvel (RAM): uma arquitetura baseada em comportamentos hierárquicos e difusos para sistemas autônomos de guiagem e navegação.** Tese de Doutorado em Engenharia Mecânica - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, p. 195. 2007.

STAFFORD, J. (Ed.). **Precision Agriculture**. [S.l.]: Wageningen Academic Publishers, 2007.

SUMMERS, D. Weed 'Em and Reap: The best inventions of the year. **Time Magazine**, Novembro 2007.

TAGUCHI, G. **Taguchi on Robust Technology Development**. New York: ASME, 1992.

VAN HENTEN, E. J. et al. Collision-free mMotion planning for a cucumber picking robot. **Biosystems Engineering**, 86 (2), 2003. 135-144.

VESTLUND, K. **Aspects of automation of selective cleaning**. Tese de Doutorado - Swedish University of Agricultural Sciences. Umeå, p. 54. 2005. (ISSN 1652-6880, ISBN 91-576-6973-2).

VESTLUND, K.; HELLSTRÖM, T. Requirements and system design for a robot performing selective cleaning in young forest stands. **Journal of Terramechanics**, 43, 2005. 505-525.

WAGENINGEN UNIVERSITY. Field Robot Event. **Wageningen University**, 2010. Disponivel em: <http://www.fieldrobot.nl/>. Acesso em: 04 Agosto 2010.

ZEITHAML, V. A.; BITNER, M. J. **Marketing de serviços:** a empresa com foco no cliente. Porto Alegre: Bookman, 2003.